



UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
United States Patent and Trademark Office
Address: COMMISSIONER FOR PATENTS
P.O. Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450
www.uspto.gov

APPLICATION NO.	FILING DATE	FIRST NAMED INVENTOR	ATTORNEY DOCKET NO.	CONFIRMATION NO.
10/601,021	06/19/2003	Douglas Werner	HIT1P020A/SJO9-2001-0068U	7090
28875	7590	08/26/2004		
Zilka-Kotab, PC P.O. BOX 721120 SAN JOSE, CA 95172-1120			EXAMINER KIM, PAUL D	
			ART UNIT 3729	PAPER NUMBER
DATE MAILED: 08/26/2004				

Please find below and/or attached an Office communication concerning this application or proceeding.

RECEIVED

SEP 08 2004

TECHNOLOGY CENTER R3700

Office Action Summary

Application No.

10/601,021

Applicant(s)

WERNER, DOUGLAS

Examiner

Paul D Kim

Art Unit

3729

-- The MAILING DATE of this communication appears on the cover sheet with the correspondence address --

Period for Reply

A SHORTENED STATUTORY PERIOD FOR REPLY IS SET TO EXPIRE 3 MONTH(S) FROM THE MAILING DATE OF THIS COMMUNICATION.

- Extensions of time may be available under the provisions of 37 CFR 1.136(a). In no event, however, may a reply be timely filed after SIX (6) MONTHS from the mailing date of this communication.
- If the period for reply specified above is less than thirty (30) days, a reply within the statutory minimum of thirty (30) days will be considered timely.
- If NO period for reply is specified above, the maximum statutory period will apply and will expire SIX (6) MONTHS from the mailing date of this communication.
- Failure to reply within the set or extended period for reply will, by statute, cause the application to become ABANDONED (35 U.S.C. § 133). Any reply received by the Office later than three months after the mailing date of this communication, even if timely filed, may reduce any earned patent term adjustment. See 37 CFR 1.704(b).

Status

- 1) ☐ Responsive to communication(s) filed on ____.
- 2a) ☐ This action is **FINAL**. 2b) ☒ This action is non-final.
- 3) ☐ Since this application is in condition for allowance except for formal matters, prosecution as to the merits is closed in accordance with the practice under *Ex parte Quayle*, 1935 C.D. 11, 453 O.G. 213.

Disposition of Claims

- 4) ☒ Claim(s) 9-15 and 20-38 is/are pending in the application.
- 4a) Of the above claim(s) ____ is/are withdrawn from consideration.
- 5) ☐ Claim(s) ____ is/are allowed.
- 6) ☒ Claim(s) 9-15 and 20-38 is/are rejected.
- 7) ☐ Claim(s) ____ is/are objected to.
- 8) ☐ Claim(s) ____ are subject to restriction and/or election requirement.

Application Papers

- 9) ☒ The specification is objected to by the Examiner.
- 10) ☒ The drawing(s) filed on 19 June 2003 is/are: a) ☒ accepted or b) ☐ objected to by the Examiner.
- Applicant may not request that any objection to the drawing(s) be held in abeyance. See 37 CFR 1.85(a).
- Replacement drawing sheet(s) including the correction is required if the drawing(s) is objected to. See 37 CFR 1.121(d).
- 11) ☐ The oath or declaration is objected to by the Examiner. Note the attached Office Action or form PTO-152.

Priority under 35 U.S.C. § 119

- 12) ☐ Acknowledgment is made of a claim for foreign priority under 35 U.S.C. § 119(a)-(d) or (f).
- a) ☐ All b) ☐ Some * c) ☐ None of:
- ☐ Certified copies of the priority documents have been received.
 - ☐ Certified copies of the priority documents have been received in Application No. ____.
 - ☐ Copies of the certified copies of the priority documents have been received in this National Stage application from the International Bureau (PCT Rule 17.2(a)).

* See the attached detailed Office action for a list of the certified copies not received.

Attachment(s)

- | | |
|---|---|
| 1) <input checked="" type="checkbox"/> Notice of References Cited (PTO-892) | 4) <input type="checkbox"/> Interview Summary (PTO-413) |
| 2) <input type="checkbox"/> Notice of Draftsperson's Patent Drawing Review (PTO-948) | Paper No(s)/Mail Date. ____. |
| 3) <input type="checkbox"/> Information Disclosure Statement(s) (PTO-1449 or PTO/SB/08) | 5) <input type="checkbox"/> Notice of Informal Patent Application (PTO-152) |
| Paper No(s)/Mail Date ____. | 6) <input type="checkbox"/> Other: ____. |

DETAILED ACTION

Claim Rejections - 35 USC § 102

1. The following is a quotation of the appropriate paragraphs of 35

U.S.C. 102 that form the basis for the rejections under this section made in this

Office action:

A person shall be entitled to a patent unless –

(e) the invention was described in (1) an application for patent, published under section 122(b), by another filed in the United States before the invention by the applicant for patent or (2) a patent granted on an application for patent by another filed in the United States before the invention by the applicant for patent, except that an international application filed under the treaty defined in section 351(a) shall have the effects for purposes of this subsection of an application filed in the United States only if the international application designated the United States and was published under Article 21(2) of such treaty in the English language.

2. Claims 9-13, 20-22, 24, 27, 30, 31, 33 and 36 are rejected under 35

U.S.C. 102(e) as being anticipated by Sato (US PAT. 6,563,678).

Sato teaches a process of forming a thin film magnetic head comprising steps of: depositing a shield layer (20) as shown in Fig. 14; etching a recessed portion (20a) in an upper surface of the shield layer, the recessed portion of the shield layer defining a protruding portion of the shield layer as shown in Fig. 15; depositing a first gap layer (38) on top of the recessed portion of the shield layer as shown in Fig. 16; depositing a second gap layer (21) on top of the first gap layer and the protruding portion of the shield layer; positioning an MR sensor (23) on top of the second gap layer in vertical alignment with the protruding portion of the shield layer; positioning first and second lead layers (25) on top of the second gap layer, the first and second lead layers being connected to the MR sensor as shown in Fig. 17; and depositing a third gap layer (26) on top of the second gap

Art Unit: 3729

layer, the MR sensor, and the first and second lead layers as shown in Fig. 5 (see also col. 13, line 21 to col. 16).

As per claim 10 the first gap layer includes an upper surface substantially level with an upper surface of the protruding portion of the shield layer as shown in Figs. 16 and 17.

As per claim 11 an upper surface of the second gap layer is planar as shown in Fig. 17.

As per claims 12, 27 and 36 a combined thickness of the first gap layer, second gap layer, and third gap layer is thinner adjacent to the MR sensor and the protruding portion of the shield layer than the recessed portion of the shield layer as shown in Fig. 5. Also, as per claims 27 and 36, the second gap layer is provided for insulating between the lead layer and the shield layer (see also col. 14, line 62 to col. 15, line 4).

As per claim 13 the recessed portion of the shield layer is etched utilizing ion milling (see col. 13, line 24).

As per claims 21, 22, 30 and 31 the first, second and third gap layers are formed of alumina or aluminum oxide (see col. 11, lines 29-32).

As per claims 24 and 33 a size of the protruding portion of the shield layer is larger than a size of MR sensor as shown in Fig. 5.

Claim Rejections - 35 USC § 103

3. The following is a quotation of 35 U.S.C. 103(a) which forms the basis for all obviousness rejections set forth in this Office action:

Art Unit: 3729

(a) A patent may not be obtained though the invention is not identically disclosed or described as set forth in section 102 of this title, if the differences between the subject matter sought to be patented and the prior art are such that the subject matter as a whole would have been obvious at the time the invention was made to a person having ordinary skill in the art to which said subject matter pertains. Patentability shall not be negated by the manner in which the invention was made.

4. Claim 14 is rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Sato in view of Sasaki (US PAT. 6,729,012).

Sato teaches all of the limitations as set forth above including ion milling process for etching the shield layer. However, Sato does not teach RIE process for etching the shield layer. Sasaki teaches a process of forming a thin film magnetic head including a process of etching the shield layer (3) with RIE in order to remove effectively a selective portion of the shield layer (see also col. 16, lines 31-35). Therefore, it would have been obvious at the time the invention was made to a person having ordinary skill in the art to modify a process for etching the shield layer of Sato by RIE as taught by Sasaki in order to remove effectively a selective portion of the shield layer.

5. Claim 15 is rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Sato in view of Yazawa et al. (US PAT. 6,751,071).

Sato teaches all of the limitations as set forth above including ion milling process for etching the shield layer. However, Sato does not teach wet etching process for etching the shield layer. Yazawa et al. teaches a process of forming a thin film magnetic head including a process of etching the shield layer (7b) with wet etching in order to improve etching controllability (see also col. 12, lines 45-58). Therefore, it would have been obvious at the time the invention was made to a person having ordinary skill in the art to modify a process for etching the shield

Art Unit: 3729

layer of Sato by wet etching as taught by Yazawa et al. in order to improve etching controllability.

6. Claims 23 and 32 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Sato in view of Sasaki (US PAT. 6,598,289).

Sato teaches all of the limitations as set forth above. However, Sato does not teach CMP process for flattening an upper surface of the first gap layer.

Sasaki teaches a process of forming a thin film magnetic head including a process of polishing an upper surface of the gap layer with CMP process for the purpose of flattening the upper surface of the gap layer effectively (see also col. 5, lines 32-37). Therefore, it would have been obvious at the time the invention was made to a person having ordinary skill in the art to modify a process for forming substantially level for the upper surface of the first gap layer of Sato by CMP process as taught by Sasaki for the purpose of flattening the upper surface of the gap layer effectively.

7. Claims 25, 26, 28, 29, 34, 35, 37 and 38 are rejected under 35 U.S.C. 103(a) as being unpatentable over Sato.

Sato teaches all of the limitations as set forth above including the MR sensor formed of multilayer including ferromagnetic material. One of ordinary skill in the art would have expected Applicant's invention to perform equally well with the ferromagnetic material of Sato because the Ni-Fe as recited in the claimed invention would perform equally well with the ferromagnetic material in Sato. Therefore, it would have been an obvious matter of design choice to modify the

Art Unit: 3729

ferromagnetic material of Sato to obtain the invention as specified in claims 25 and 34.

Also, Sato does not teach the electrode layer made of copper. Even though the electrode layer of Sato is not specified, one of ordinary skill in the art would have expected Applicant's invention to perform equally well with the electrical material of Sato because the copper as recited in the claimed invention would perform equally well with the electrical material in Sato. Therefore, it would have been an obvious matter of design choice to modify the electrical material of Sato to obtain the invention as specified in claims 26 and 35.

Sato also teaches all of the limitations as set forth above including forming the second gap layer on the first gap layer and the protruding portion of the shield layer. According to Fig. 17, the second gap layer is planar. Even though Sato does not describe for forming the planar second gap layer in order to avoid detrimental ramification of reflective notching and the swing curve effect (as per claims 28, 29, 37 and 38), applicant has not disclosed that the planar second gap layer as recited in the claimed invention provides an advantage, is used for a particular purpose, or solves a stated problem. Therefore, it would have been obvious at the time the invention was made to a person having ordinary skill in the art to have provided the planar second gap layer of Sato capable of avoiding detrimental ramification of reflective notching and the swing curve effect.

Art Unit: 3729

Conclusion

8. Any inquiry concerning this communication or earlier communications from the examiner should be directed to Paul D Kim whose telephone number is 703-308-8356. The examiner can normally be reached on Tuesday-Friday between 8:00 AM to 5:30 PM.

If attempts to reach the examiner by telephone are unsuccessful, the examiner's supervisor, Peter Vo can be reached on 703-308-1789. The fax phone number for the organization where this application or proceeding is assigned is 703-872-9306.

Information regarding the status of an application may be obtained from the Patent Application Information Retrieval (PAIR) system. Status information for published applications may be obtained from either Private PAIR or Public PAIR. Status information for unpublished applications is available through Private PAIR only. For more information about the PAIR system, see <http://pair-direct.uspto.gov>. Should you have questions on access to the Private PAIR system, contact the Electronic Business Center (EBC) at 866-217-9197 (toll-free).



Paul D Kim
Examiner
Art Unit 3729

Notice of References Cited

Application/Control No.

10/601,021

Applicant(s)/Patent Under
Reexamination
WERNER, DOUGLAS

Examiner

Paul D Kim

Art Unit

3729

Page 1 of 1

U.S. PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Name	Classification
	A	US-6,751,071	06-2004	Yazawa et al.	360/319
	B	US-6,729,012	05-2004	Sasaki, Yoshitaka	29/603.07
	C	US-6,598,289	07-2003	Sasaki, Yoshitaka	29/603.15
	D	US-6,563,678	05-2003	Sato, Kiyoshi	360/320
	E	US-			
	F	US-			
	G	US-			
	H	US-			
	I	US-			
	J	US-			
	K	US-			
	L	US-			
	M	US-			

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

*		Document Number Country Code-Number-Kind Code	Date MM-YYYY	Country	Name	Classification
	N	JP 07262514 A	10-1995	Japan	DATE, KOICHI	G11B 07/125
	O					
	P					
	Q					
	R					
	S					
	T					

NON-PATENT DOCUMENTS

*		Include as applicable: Author, Title Date, Publisher, Edition or Volume, Pertinent Pages)
	U	"Surface potential imaging for magnetoresistive head development"; Moreland, J.; Russek, S.E.; Hopkins, P.F.; Magnetics, IEE Transactions on , Volume: 33 , Issue: 5 , Sept. 1997; Pages:4068 - 4070.
	V	
	W	
	X	

*A copy of this reference is not being furnished with this Office action. (See MPEP § 707.05(a).)
Dates in MM-YYYY format are publication dates. Classifications may be US or foreign.

PAT-NO: JP407262519A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07262519 A

TITLE: MR COMPOUND HEAD AND PRODUCTION OF THE SAME

PUBN-DATE: October 13, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

KROUNBI, MOHAMAD T

LO, JYH-SHUEY J

TSANG, CHING H

VALLETTA, ROBERT M

INT-CL (IPC): G11B005/31, G11B005/39

ABSTRACT:

PURPOSE: To vertically align the side wall of a magnetic pole terminal layer with the side wall of an top magnetic pole terminal element by providing a magnetic pole terminal vertically aligned for minimizing side writing.

CONSTITUTION: A write head 52 is provided with a magnetic pole terminal area placed between an air bearing surface ABS and a '0' throat level and a yoke area or a back area which is extended backward from the '0' throat level to a back gap and includes the back gap. Then, the head 52 is provided with a bottom pole element P1 and a top pole element P2, and the bottom pole element P1 consists of a 2nd shield layer S2 of an MR read head 50. The bottom pole element P1 and top pole element P2 respectively have back layer parts placed in the back area and the back layer parts of the pole elements are magnetically coupled at the back gap BG. The bottom pole element P1 is provided with magnetic pole terminal structure placed in a magnetic pole terminal area between the ABS and the '0' throat level. The MR compound head vertically aligning the side wall of a magnetic pole terminal layer PT1b with the side wall of a top magnetic pole terminal element PT2 can be provided.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

----- KWIC -----

Abstract Text - FPAR (2):

CONSTITUTION: A write head 52 is provided with a magnetic pole terminal area placed between an air bearing surface ABS and a '0' throat level and a yoke area or a back area which is extended backward from the '0' throat level to a back gap and includes the back gap. Then, the head 52 is provided with a bottom pole element P1 and a top pole element P2, and the bottom pole element P1 consists of a 2nd shield layer S2 of an MR read head 50. The bottom pole

element P1 and top pole element P2 respectively have back layer parts placed in the back area and the back layer parts of the pole elements are magnetically coupled at the back gap BG. The bottom pole element P1 is provided with magnetic pole terminal structure placed in a magnetic pole terminal area between the ABS and the '0' throat level. The MR compound head vertically aligning the side wall of a magnetic pole terminal layer PT1b with the side wall of a top magnetic pole terminal element PT2 can be provided.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-262519

(43) 公開日 平成7年(1995)10月13日

(51) IntCl.⁸

G 1 1 B 5/31
5/39

識別記号

庁内整理番号

A 8935-5D

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数55 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平6-325467

(22) 出願日 平成6年(1994)12月27日

(31) 優先権主張番号 2 0 8 3 9 8

(32) 優先日 1994年3月9日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 モハマド・トウフィク・クロウンビー

アメリカ合衆国95120 カリフォルニア州
サンノゼ パソ・ロス・セリトス 6238

(74) 代理人 弁理士 合田 漢 (外2名)

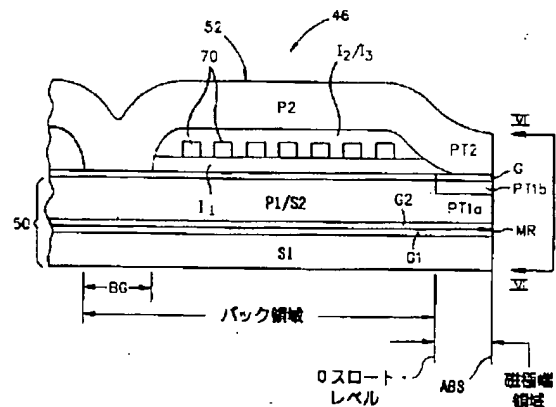
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MR複合ヘッド及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 サイドフリンジを最小化し、オフトラック性能を改善するため、垂直に位置合せされた側壁を有するMR複合ヘッドを提供する。

【構成】 読取りヘッドの第2シールド層S2を構成する底極片P1が、短い長さ寸法のペダスタル磁極端を有する。ギャップ層Gの長さの2倍ほどの短い長さを有するペダスタル磁極端によって、サイドライティングが最適に最小化され、オフトラック性能が改善される。書き込みヘッドの底磁極端構造は、頂磁極端構造をマスクとして使用するイオン・ビーム・ミリングによって構成される。イオン・ビーム・ミリングは、頂磁極端構造の側壁に対してある角度に向けられ、これによって、底磁極端構造が、側壁を頂磁極端構造と位置合せされた状態でミリングされる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】底極片P1と頂極片P2とを有する書込みヘッドを含み、

前記底極片P1が底磁極端要素PT1aと頂磁極端要素PT1bとを有し、前記頂極片P2が磁極端要素PT2を有することを特徴とし、

前記底極片とその磁極端要素PT1aとを含む第2シールド層S2を有するMR読取りヘッドを含み、

前記頂磁極端要素PT1bが、第2シールド層S2に関してベDESTALを形成することを特徴とし、

前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれが、第1および第2の側壁を有し、前記頂磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第1側壁が、共通して第1垂直面内にあり、前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第2側壁が、共通して第2垂直面内にあることを特徴とし、前記第1および第2の垂直面が、エア・ベアリング面(ABS)において、書込みヘッド・トラック幅を表す距離wだけ互いに離隔して置かれることを特徴とする、MR複合ヘッド。

【請求項2】ハウジングと、

ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、

磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、請求項1に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

【請求項3】前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて、前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項4】前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2の間に置かれたギャップ層Gを含み、該ギャップ層Gが、第1および第2の側壁を有し、前記ギャップ層Gの第1側壁が、前記第1垂直面内に置かれ、前記ギャップ層Gの第2側壁が、前記第2垂直面内に置かれることを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項5】前記磁極端要素PT2が単一層であることを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項6】前記磁極端要素PT2が磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項7】前記MR読取りヘッドが、

前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、

該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G

2と、

前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項8】前記第1垂直面と前記第2垂直面との間の距離が $5\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項9】前記ABSでのギャップGの長さがgであり、

10 前記ABSでの前記頂磁極端要素PT1bの長さが、 $0.5g$ から $3.0g$ までの範囲内にあることを特徴とする、請求項1に記載のMR複合ヘッド。

【請求項10】前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、請求項9に記載のMR複合ヘッド。

【請求項11】ハウジングと、

ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、

20 磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、請求項10に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

【請求項12】前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2の間に置かれたギャップ層Gを含み、該ギャップ層Gが、第1および第2の側壁を有し、前記ギャップ層Gの第1側壁が、前記第1垂直面内に置かれ、前記ギャップ層Gの第2側壁が、前記第2垂直面内に置かれる、請求項10に記載のMR複合ヘッド。

【請求項13】前記MR読取りヘッドが、前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、

該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G2と、

前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、請求項12に記載のMR複合ヘッド。

【請求項14】前記ギャップGの長さgが、 $0.1\mu\text{m}$ から $0.7\mu\text{m}$ までの範囲内にあり、前記ABSでの磁極端要素の長さが、実質的に $2.0g$ であることを特徴とする、請求項13に記載のMR複合ヘッド。

【請求項15】前記磁極端要素PT2が、単一層であることを特徴とする、請求項14に記載のMR複合ヘッド。

【請求項16】前記磁極端要素PT2が、磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特

徴とする、請求項14に記載のMR複合ヘッド。

【請求項17】底極片P1と頂極片P2とを有する書込みヘッドを含み、

前記底極片P1が、底磁極端要素PT1aと頂磁極端要素PT1bとを有し、前記頂極片P2が、磁極端要素PT2を有し、前記底磁極端要素PT1aが、前記頂磁極端要素PT1bの幅よりも広い幅を有することを特徴とし、

前記底磁極端要素PT1aを含む前記底極片を含む第2シールド層S2を有するMR読取りヘッドを含み、

前記頂磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2に関してベDESTALであることを特徴とし、

前記頂磁極端要素PT1bが、頂薄膜面、第1側壁、第2側壁および前壁を有し、前壁が、エア・ベアリング面(ABS)の一部を形成し、頂薄膜面が、前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれることを特徴とし、

前記磁極端要素PT2が、頂薄膜面、底薄膜面、前壁、第1側壁および第2側壁を有し、前壁が、ABSの一部を形成し、頂薄膜面および底薄膜面が、前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれることを特徴とし、

前記頂磁極端要素PT1bの頂薄膜面と前記磁極端要素PT2の底薄膜面との間に挟まれ、頂薄膜面、底薄膜面、前壁を有し、前壁が前記ABSの一部を形成し、頂薄膜面および底薄膜面が前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれる、ギャップ層Gを含み、

前記頂磁極端要素PT1b、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第1側壁が、第1垂直面内で連続しており、前記頂磁極端要素PT1b、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第2側壁が、第2垂直面内で連続していることを特徴とし、

前記第1垂直面および前記第2垂直面のそれぞれが、前記ABSに対して垂直であり、前記ABSの位置で、前記書込みヘッドのトラック幅である距離wだけ互いに離れていることを特徴とするMR複合ヘッド。

【請求項18】前記底磁極端要素PT1aおよび前記頂磁極端要素PT1bのそれぞれが、別々の磁性層であり、

前記磁極端要素PT2が、頂磁極端要素PT2aと底磁極端要素PT2bとを含み、

前記頂磁極端要素PT1bおよび前記底磁極端要素PT2bの材料が、前記底磁極端要素PT1aおよび前記頂磁極端要素PT2aの材料より高いモーメントの飽和を有することを特徴とする、請求項17に記載のMR複合ヘッド。

【請求項19】前記ABSでのギャップGの長さがgであり、

前記ABSでの前記頂磁極端要素PT1bの長さが、実質的に2.0gであることを特徴とする、請求項17に記載のMR複合ヘッド。

【請求項20】前記ギャップGの長さgが、0.1μmから0.7μmまでの範囲内にあることを特徴とする、請求項19に記載のMR複合ヘッド。

【請求項21】前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて、前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、請求項20に記載のMR複合ヘッド。

【請求項22】前記MR読取りヘッドが、前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、

該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G2と、

前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、請求項21に記載のMR複合ヘッド。

【請求項23】ハウジングと、ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、

磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、請求項22に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

【請求項24】前記磁極端要素PT2が磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特徴とする、請求項22に記載のMR複合ヘッド。

【請求項25】磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれが第1側壁と第2側壁とを有する、磁極端要素PT1a、PT1bおよびPT2と、前記磁極端要素PT1aを含む第2シールド層S2を含むMR読取りヘッドとを含み、

前記磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2に関してベDESTALであることを特徴とし、

前記磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第1側壁が、第1垂直面内に位置合せされ、前記磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第2側壁が、第2垂直面内に位置合せされることを特徴とし、

前記第1および第2の垂直面が、ABSで、MR複合ヘッドのトラック幅を画定する距離wだけ互いに離隔して置かれることを特徴とするMR複合ヘッド。

【請求項26】前記第2シールド層S2が、前記磁極端要素PT1aに加えて、前記磁極端要素PT1bを含み、

前記磁極端要素PT2が、単一層であることを特徴とする、請求項25に記載のMR複合ヘッド。

【請求項27】前記ABSでのギャップGの長さがgであり、

該ギャップGの長さgが、0.1μmから0.7μmま

での範囲内にあり、

前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、0.5gから3.0gまでの範囲内にあることを特徴とする、請求項26に記載のMR複合ヘッド。

【請求項28】エア・ベアリング面(ABS)と0スロート・レベルとの間に延びる未画定の磁極端部分を有し、前記ABSからバック・ギャップまで延び、該バック・ギャップを含む底極片P1と、MRヘッドの第2シールド層S2とを形成するため少なくとも1つの磁性層を堆積するステップと、

前記ABSと前記0スロート・レベルとの間に延び、第1および第2の垂直側壁を有する画定された磁極端要素PT2と共に形成される頂極片P2を、前記バック・ギャップを含めて前記ABSから前記バック・ギャップまで、前記底極片P1の上に形成するためもう1つの磁性層を堆積するステップと、

前記底極片P1に関してベDESTALであり、前記磁極端要素PT2の前記第1および第2の垂直側壁に対してそれぞれ位置合せされる第1および第2の垂直側壁を有する磁極端要素PT1bと、磁極端要素PT1aとに、底極片P1を形成するため、前記磁極端要素PT2の各側面上で前記底極片P1を垂直に切り欠くため、画定された前記磁極端要素PT2をマスクとして使用して、画定された前記磁極端要素PT2の側壁に対して角度 θ で、前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップとを含む、エア・ベアリング面(ABS)によって部分的に囲まれる頂部および底部を有するMR複合ヘッドを製造する方法。

【請求項29】前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップの前に、前記頂極片P2の上にフォトレジスト・マスクを堆積するステップと、

画定された前記磁極端要素PT2が、前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップのためのマスクとして働くことができるように、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域を露出する開口を前記フォトレジスト・マスク内に設けるステップとを含む、請求項28に記載の方法。

【請求項30】前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記底極片P1の未画定の磁極端部分にイオン・ビームを向ける前に、ギャップ層Gにイオン・ビームを向けるステップを含むことを特徴とし、

前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記ギャップ層Gに磁極端要素PT1bおよびPT2の第1および第2の垂直側壁とそれぞれ位置合せされ

る第1および第2の垂直側壁を設けることを特徴とする請求項28に記載の方法。

【請求項31】前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、

前記ギャップ層Gを堆積するステップが、ABSで0.1 μ mから0.7 μ mまでの範囲内の厚さgを有するギャップ層をもたらすことを特徴とし、

10 前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、実質的に2.0gであることを特徴とする請求項28に記載の方法。

【請求項32】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、単一の角度 θ で単一のイオン・ビームを向けることからなることを特徴とする、請求項28に記載の方法。

【請求項33】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、

20 第1イオン・ビームが、 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、

第2イオン・ビームが、 $60^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、請求項28に記載の方法。

【請求項34】前記第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、請求項33に記載の方法。

【請求項35】前記第1イオン・ビームが、実質的に30 $^\circ$ の角度 θ であり、

30 前記第2イオン・ビームが、実質的に75 $^\circ$ の角度 θ であることを特徴とする、請求項34に記載の方法。

【請求項36】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、磁極端層PT2の厚さを減少させ、前記磁極端要素PT2を堆積するステップが、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップによって引き起こされる前記磁極端要素PT2の厚さの減少である追加厚さを有する磁極端層PT2を堆積するステップを含むことを特徴とする、請求項28に記載の方法。

【請求項37】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップの前に、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域とを露出させる窓を前記ABSと0スロート・レベルとの間のマスク内に残して、前記頂極片P2層の上で実質的に0スロート・レベルとバック・ギャップとの間にマスクを堆積するステップを含む、請求項36に記載の方法。

【請求項38】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、単一の角度 θ で単一のイオン・ビームを向けることからなり、

50 前記角度 θ が、 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲内であることを特徴とする、請求項37に記載の方法。

【請求項39】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、

第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、

第2イオン・ビームが、 $65^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、請求項37に記載の方法。

【請求項40】前記第1イオン・ビームが、実質的に 30° の角度 θ であり、

前記第2イオン・ビームが、実質的に 75° の角度 θ であることを特徴とする、請求項39に記載の方法。

【請求項41】前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、

該ギャップ層Gを堆積するステップが、ギャップGに前記ABSでの長さgをもたらず層厚さをもたらずことを特徴とし、

前記ABSでの磁極端要素PT1bの長さが、実質的に $2.0g$ であることを特徴とする請求項40に記載の方法。

【請求項42】前記第1および第2のイオン・ビームが、同時に向けられることを特徴とする、請求項41に記載の方法。

【請求項43】前記第1および第2のイオン・ビームが、順次向けられることを特徴とする、請求項41に記載の方法。

【請求項44】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、イオン・ビーム・ミリング・チャンバ内に、その上に諸層を堆積された前記底極片P1を置くステップと、前記底極片P1およびその上に堆積された諸層にイオン・ビームを向けている間に、前記底極片P1およびその上に堆積された諸層を一定回転数で回転するステップとを含むことを特徴とする、請求項43に記載の方法。

【請求項45】前記ギャップ層Gを堆積するステップが、前記ギャップ層Gに $0.1\mu\text{m}$ から $0.7\mu\text{m}$ までの範囲内の長さgをもたらずステップを含み、

前記別の磁性層を堆積するステップが、約 $7\mu\text{m}$ の層厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含み、

前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、各切欠が約 $0.7\mu\text{m}$ の深さになり、前記ペデスタルが約 $0.7\mu\text{m}$ の高さを有するように、前記底極片P1に切欠を設けるステップを含み、

前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の厚さを約 $2\mu\text{m}$ 減少させることを特徴とする、請求項44に記載の方法。

【請求項46】MR読取りヘッドと書き込みヘッドとを含

むMR複合ヘッドを製造する方法において、該MR読取りヘッドが、第1および第2のシールド層S1およびS2、該第1および第2のシールド層S1およびS2の間に挟まれた第1および第2のギャップ層G1およびG2、ならびに、該第1および第2のギャップ層G1およびG2の間に挟まれたMR素子を有し、前記書き込みヘッドが、エア・ベアリング面(ABS)からバック・ギャップまで延び、該バック・ギャップを含む底極片P1と頂極片P2とを含み、該底極片P1が、第2シールド層S2を構成し、前記底極片P1が、前記ABSと0スロット・レベルとの間に延びる磁極端要素PT1aおよびPT1bを有し、前記頂極片P2が、前記ABSと前記0スロット・レベルとの間に延びる磁極端要素PT2を有し、前記磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2、前記底極片P1および前記磁極端要素PT1aに関してベDESTALであり、前記第2シールド層S2が、前記磁極端要素PT1aおよびPT1bを含み、ギャップ層Gが、前記磁極端要素PT1aおよびPT2の間に挟まれ、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bのそれぞれが、第1および第2の垂直側壁を有し、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bの第1垂直側壁が、第1垂直面内で連続しており、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bの第2垂直側壁が、第2垂直面内で連続しており、前記第1および第2の垂直面が、前記ABSに対して垂直であり、MR複合ヘッドのトラック幅を画定する距離wだけABSで互いに離隔しており、

(1) 前記MR読取りヘッドの前記第2シールド層S2と、

(2) 前記ABSと0スロット・レベルとの間の未画定の磁極端部分と、前記0スロット・レベルとバック・ギャップとの間のバック部分とを有する前記底極片P1とを形成するために、前記バック・ギャップを含み前記ABSから前記バック・ギャップまで、第1磁性層を堆積するステップと、

前記ABSから前記0スロット・レベルまで、前記第1磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップと、

前記第1および第2の垂直側壁を有する画定された前記磁極端要素PT2を有する前記頂極片P2を形成するため、前記第1磁性層の上で前記ギャップ層Gの上に第2磁性層を堆積するステップと、

前記磁極端要素PT2の各側面上で前記第1磁性層に切欠を設けるためのマスクとして前記磁極端要素PT2を使用して、前記底極片P1の未画定の磁極端部分のある区域内の前記第1磁性層で、前記ABSに実質的に平行で前記磁極端要素PT2の第1および第2の側壁に対して角度 θ の方向に、少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップとを含み、前記切欠によって、垂直のペDESTALを有する前記第1磁性層が残され、前記垂直ペ

デスタルが、前記磁極端要素PT1bであり、前記磁極端要素PT1bに第1および第2の垂直側壁をもたらす、前記ABSと前記0スロート・レベルとの間の、前記ベDESTALを除く磁性層が、前記磁極端要素PT1aを含み、前記磁極端要素PT1bおよびPT2の第1垂直側壁が、第1垂直面内で位置合せされ、前記磁極端PT1bおよびPT2の第2側壁が、第2垂直面内で位置合せされ、前記第1および第2の垂直面が、前記ABSに対して垂直であり、MR複合ヘッドのトラック幅wを画定するため前記ABSで互いに離隔されることを特徴とする前記方法。

【請求項47】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、未画定の磁極端部分にイオン・ビームを向ける前に前記ギャップ層Gにイオン・ビームを向けるステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT1bおよびPT2の第1および第2の垂直側壁にそれぞれ位置合せされる第1および第2の側壁を前記ギャップ層Gにもたらしことを特徴とする、請求項46に記載の方法。

【請求項48】前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、前記第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、前記第2イオン・ビームが、 $65^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、請求項46に記載の方法。

【請求項49】前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の厚さを減少させ、前記磁極端要素PT2を形成するために磁性層を堆積するステップが、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップによって引き起こされる前記磁極端要素PT2の厚さの減少である追加厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含むことを特徴とし、前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップの前に、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域を露出させる窓を前記ABSと前記0スロート・レベルとの間のマスク内に残して、前記頂極片P2の上で実質的に前記0スロート・レベルとバック・ギャップとの間にマスクを堆積するステップを含む請求項48に記載の方法。

【請求項50】前記ギャップ層Gを堆積するステップが、前記ギャップGに前記ABSでの長さgをもたらす層厚さをもたらしことを特徴とし、前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、0.5gから3.0gまでの範囲内にあることを特徴とする、請求項49に記載の方法。

【請求項51】前記第1イオン・ビームが、約 30° の

角度 θ であり、

前記第2イオン・ビームが、約 75° の角度 θ であることを特徴とする、請求項50に記載の方法。

【請求項52】前記ギャップ層Gを堆積するステップが、0.1 μm から0.7 μm までの範囲内の厚さgを有するギャップ層Gを堆積するステップを含み、前記磁極端要素PT2を堆積するステップが、約7 μm の層厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含み、

前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、約0.7 μm の深さである深さを有する切欠を前記第1磁性層に設け、これによって、約0.7 μm の高さを有するベDESTALを設けるステップを含み、前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の層厚さを約2 μm 減少させることを特徴とする、請求項51に記載の方法。

【請求項53】前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、イオン・ビーム・ミリング・チャンバ内に、その上に諸層を堆積された第1磁性層を置くステップと、前記第1磁性層およびその上に堆積された諸層にイオン・ビームを向けている間に、前記第1磁性層およびその上に堆積された諸層を一定回転数で回転するステップとを含むことを特徴とする、請求項52に記載の方法。

【請求項54】前記第1および第2のイオン・ビームが、同時に向けられることを特徴とする、請求項53に記載の方法。

【請求項55】前記第1および第2のイオン・ビームが、順次向けられることを特徴とする、請求項53に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、位置合せされた磁極端を有する薄膜併合磁気抵抗(MR)ヘッドと、その製造方法とに関する。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスク駆動装置では、高速で回転するディスクの表面上に支持される、「ヘッド」と称する薄膜磁気変換器によってデータが読み書きされる。ヘッドは、ディスクの高速回転によって作られる空気の薄いクッション(「エア・ベアリング」)によって支持される。

【0003】薄膜磁気書き込みヘッドは、高い面密度をもたらすので望ましく、薄膜磁気読み取りヘッドは、分解能が高いので望ましい。薄膜磁気ヘッドは、製造が簡単でもある。さまざまな薄膜製造技法を用いて、セラミック基板上にヘッドをまとめて製造した後に、個々のヘッドに刻み分ける(dice)ことができる。

【0004】薄膜書き込みヘッドには、磁性材料の薄膜(「層」)から形成される底極片P1および頂極片P2

が含まれる。これらの極片は、一般に「スロート・ハイト (throat height)」と称する磁極端高さ寸法を有する。完成した書き込みヘッドでは、スロート・ハイトが、極片の先端を研磨することによって形成されるエア・ベアリング面 (「ABS」と、底極片P1および頂極片P2が磁気記録ギャップに収束する0スロート・ハイト・レベル (「0スロート・レベル」) との間で測定される。薄膜磁気書き込みヘッドにも、ABSと0スロート・レベルの間に置かれる磁極端領域が含まれ、さらに、0スロート・レベルから後ろに延び、バック・ギャップを含むバック領域が含まれる。極片のそれぞれは、磁極端領域に磁極端部分を有し、バック領域にバック部分を有する。極片は、バック・ギャップで互いに接続される。

【0005】磁極端は、書き込みヘッドの底極片P1および頂極片P2の延長である。底極片P1および頂極片P2のそれぞれが、磁極端領域では磁極端に変化する。磁極端は、絶縁材料の薄い層であるギャップ層 (G) によって分離される。頂極片P2の磁極端は、磁束を磁気媒体に誘導する最後の要素である。したがって、その幅は、底極片P1の磁極端の幅よりも重要である。しかし、下で詳細に説明するように、磁極端の間での磁束漏れを最小にするために、磁極端が同一の幅を有することが重要である。

【0006】ディスクの単位表面積あたりに記憶されるデータの量 (「面密度」) を高めるためには、書き込みヘッドが、ディスク表面のより狭いトラックにより多くのデータを書き込むことが必要である。したがって、面密度の向上は、磁極端の間のギャップ長を減らすことによって可能である。ギャップ長を減らすことによって、トラック内のビット密度が高まる。しかし、ギャップ長の短縮は、磁極端の間の磁束強度 (flux intensity) の減少によって制限される。面密度の向上は、書き込みヘッドがディスクに記録するデータ・トラックの数を増やすことによって可能である。これに関連するパラメータ表現が、「トラック毎インチ」または「TPI」である。書き込みヘッドのTPI能力は、データ・トラックの幅を決定するヘッド寸法を減らすことによって高められる。通常、この寸法をヘッドの「トラック幅」と称する。

【0007】MR読取りヘッドには、回転する磁気ディスクからの磁束密度にตอบสนองして抵抗値が変化する磁気抵抗 (MR) 要素が使用される。この磁気抵抗要素を通過する感知電流は、磁気抵抗要素の抵抗の変化に比例して変化する。磁気抵抗要素の応答は、磁気抵抗要素の抵抗変化が磁気媒体から感知される磁束密度の変化にどれほど良好に追従するかに基づいている。ディスク駆動装置では、読取りヘッドからのリードバック信号を処理するために、磁気抵抗要素に差動前置増幅器を接続する。磁気抵抗要素は、底ギャップ (絶縁) 層G1と頂ギャップ層G2に挟まれた薄膜層であり、これらは、底シールド層である第1シールド層S1と頂シールド層である第2

シールド層S2に挟まれる。これらのシールド層の間の距離を、読取りギャップと称する。読取りギャップが狭ければ狭いほど、MR読取りヘッドの分解能が高くなる。

【0008】最近の技術の進歩によって、MR複合 (merged) ヘッドがもたらされた。MR複合ヘッドでは、MR読取りヘッドと書き込みヘッドを組み合わせて使用する。これは、MRヘッドの第2シールド層S2を書込みヘッドの底極片P1として使用することによって達成される。MR複合ヘッドは、読取りまたは書き込みのいずれかに関して高い能力を有する。MR複合ヘッドでは、MR読取りヘッドの第2シールド層S2が、書き込みヘッドの底極片P1としても働き、これによって製造ステップが1つ省略されるので、読取りヘッドと書き込みヘッドを別々に製造する場合に対して処理ステップが節約される。MR複合ヘッドのもう1つの長所は、書き込み直後の読取りのために、読取りヘッドと書き込みヘッドの諸要素を単一のサスペンション・システム上で簡単に位置合わせできることである。

【0009】しかし、現在のMR複合ヘッド構造では、記録中にかなり大きいサイドフリンジ磁界が生じる。この磁界は、頂極片P2から底極片P1の、P2によって画定される領域を越えた部分への磁束漏れによって生じる。このサイドフリンジ磁界は、達成可能な最小トラック幅を制限し、したがって、トラック密度の上限を制限する。その結果、MR複合ヘッドの記録要素によって書き込まれたトラックをMR要素によって読み取る時には、MR要素の「オフトラック」性能が劣悪になる。すなわち、MR要素が、読取り中のトラックの中心から横方向に移動する時、そのMR要素が少し移動しただけで、隣接トラックの磁界からの干渉が、読取り中のトラックの磁界と干渉し始める。

【0010】誘導ヘッドでは、底磁極端要素PT1および頂磁極端要素PT2の側壁が、上下の極片を介するイオン・ビーム・ミリングによって、実質的に垂直に位置合わせされ、実質的に等しい幅に制限される。しかし、この処理中に頂磁極端要素PT2によって引き起こされるシャドーイングのために、底磁極端要素PT1に向かって多少外向きのテーパーが付く。このテーパーの非対称性は、幾つかの望ましくない影響をもたらすが、磁極端の側壁は、磁極端の間のギャップの縁を超えるサイドフリンジを防ぐようにおおむね垂直に位置合わせされる。

【0011】MR複合ヘッドを製造するための本方法では、第2シールド層S2の上にギャップ層を堆積した後、ギャップ層の上に頂磁極端要素PT2を堆積する。頂磁極端要素PT2は、フォトレジスト・フレームめっきまたはイオン・ビーム・ミリングのいずれかによって画定できる。頂磁極端要素PT2の幅は、書き込まれるトラックの幅を制限するために、5 μ m程度に狭く保たれる。しかし、このMR読取りヘッドの第2シールド層

S2は、読取りヘッド内のMR要素をシールドするために、50 μ m程度の非常に広い幅を有する。この幅の相違が、頂磁極端要素PT2の幅を超えて横に延びる磁極端要素の間のサイドフリンジ磁束場をもたらす。これは、頂磁極端要素PT2からの磁束線のための大きな横チャンネルをもたらす第2シールド層S2の幅によって引き起こされる。底磁極端要素PT1を含む第2シールド層S2は、頂磁極端要素PT2の側壁に位置合せされた側壁を有することが望ましいはずである。しかし、第2シールド層S2は、MR要素を保護するために幅広である必要があるため、これは不可能である。このため、MR複合ヘッドのオフトラック性能問題を改良できないように見える。

【0012】MR複合ヘッドのサイドフリンジ問題に対する解決策の1つが、第2シールド層S2の上に狭い磁極端層PT1bを作り、S2層により幅広の底の磁極端要素PT1aとして働かせることである。これらの磁極端の両方が、底極片P1の磁極端部分であり、磁極端層PT1bが、磁極端要素PT1aの上でベDESTAL（pedestal）を形成する。その後、磁極端層PT1bの上にギャップ層を形成し、そのギャップ層の上に頂極片P2の頂磁極端要素PT2を形成する。この磁極端配置は、（1）フォトレジスト・マスキング技法を使用して磁極端層PT1bと頂磁極端要素PT2のそれぞれをフレームめっきするか、（2）頂極片P2のヨーク区域をマスキングし、頂磁極端要素PT2と磁極端層PT1bの両方ならびにそれらの間のギャップ層を介してイオン・ビーム・ミリングを行うかのいずれかによって構成することができる。フレームめっき処理では、頂磁極端要素PT2と磁極端層PT1bの側壁を位置合せすることが極端に困難である。これは、磁極端のそれぞれが、別の工程でめっきされ、その結果、フォトレジスト・マスクの位置ずれが生じるからである。イオン・ビーム・ミリングの場合、ミリング層の再堆積が処理中にPT2上に蓄積し、その下の磁極端層PT1bのシャドーイングを引き起こす。このシャドーイングは、上で述べた誘導ヘッドを製造する際にも生じる現象であるが、下側の磁極端層PT1bの外向きテーパー構成をもたらす。シャドーイングは、下側の磁極端から横に延び、サイドフリンジ磁界の磁気経路をもたらす。まっすぐ下向きではなくイオン・ビームを側壁に対してある角度に向けることによって、屑を取り除き、これらの磁極端の側壁を垂直に位置合せする試みがなされてきた。これによって、屑の一部が切除される。しかし、累積した屑は非常に厚いので、この処理によって垂直の側壁を得ることはできない。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、サイドライティング（sidewriting）を最小化するために垂直に位置合せされた磁極端を有する薄膜磁気ヘッドを提

供することである。

【0014】本発明のもう1つの目的は、オフトラック性能が改良された薄膜MR複合ヘッドを提供することである。

【0015】本発明のもう1つの目的は、その中の磁気抵抗要素のシールドとして働き、良好なオフトラック性能を有する書込みヘッドの磁極端としても働く第2シールド層S2を有するMR複合ヘッドを提供することである。

【0016】本発明のもう1つの目的は、第2シールド層S2が小さな高さのベDESTALを有し、このベDESTALが磁極端層PT1bとして働き、その下のS2層が書込みヘッドの底極片P1の磁極端要素PT1aとして働くことを特徴とし、磁極端層PT1bの側壁が頂磁極端要素PT2の側壁と垂直に位置合せされることを特徴とする、MR複合ヘッドを提供することである。

【0017】他の目的および長所は、本発明の下記の説明を鑑みれば明らかになる。

【0018】

【課題を解決するための手段】従来技術のMR複合ヘッドのサイドフリンジ問題は、MR複合ヘッド製造の処理における独自の2ステップの発見によって解決された。第1の発見は、磁極端層PT1bの長さ（S2/PT1a磁極端に関するベDESTAL部分）を、以前に考えられていたものより短くすることができるということである。ギャップ層Gの長さgの0.5倍ないし2.5倍の長さを有するベDESTAL磁極端層PT1bを用いると、ベDESTAL磁極端層PT1bの側壁が頂磁極端要素PT2の側壁と垂直に位置合せされている場合に、サイドフリンジ磁界が大幅に減少することが観察された。垂直位置合せは、2つのステップを含む第2の発見によって達成された。その第1ステップは、所望の幅を有するギャップ層の上に頂磁極端要素PT2をフレームめっきすることである。この層の厚さは、次の処理ステップによって減らされるので、所望の最終的な厚さより厚くすることができる。たとえば、5 μ mの最終厚さを所望する場合、追加の2 μ mを追加し、合計7 μ mの厚さとすることができる。フォトレジスト・フレームめっき処理を用いて、7 μ mの厚さを有し、垂直の側壁を有する頂磁極端要素PT2を構成することができる。次のステップは、頂磁極端要素PT2をマスクとして使用して、頂磁極端要素PT2の側壁に対してある角度で頂磁極端要素PT2の下側の磁性層にイオン・ビームを向けて、側壁の各側面のPT2の下側の磁性層を切り欠き、ベDESTAL磁極端層PT1bを形成することである。適正な角度を用いると、ベDESTAL磁極端層PT1bの側壁が頂磁極端要素PT2の側壁と垂直に位置合せされるという驚くべき結果が得られる。ベDESTAL磁極端層PT1bの長さは非常に短くすることができるので、磁束漏れを適切に減少させるために、ベDESTAL磁極端層PT1bを、第

2シールド層S2に直接にミリングすることができる。これによって、第2シールド層S2の上にベデスタルを形成するために、その上に層を堆積する必要がなくなる。典型的なギャップ長は0.3 μ mであるが、これによって、約0.6 μ mというベデスタル磁極端層PT1bの長さがもたらされる。ベデスタル磁極端層PT1bを得るためのイオン・ビーム・ミリングによる第2シールド層S2の切欠きは、磁気抵抗要素をシールドする能力に影響しない。頂磁極端要素PT2の側壁に対してある角度にイオン・ビームを向けることによって、このイオン・ビームが、カットと同時に再堆積を除去する。55°の角度で満足な結果が得られることが判っている。しかし、さらに良いミリング処理では、順番にまたは同時にのいずれかで、2つのイオン・ビームを使用する。30°に向けられた第1ビームがカットと再堆積の部分的な除去を実行し、75°の第2のビームが、残りの再堆積のすべてを除去して、頂磁極端要素PT2とベデスタル磁極端層PT1bの間で垂直に位置合せされた側壁をもたすことが判っている。その代わりに、第2シールド層S2の上に磁性層を置き、第2の発見に関して説明したステップによってこれを切り欠くことができる。しかし、これには、異なる材料を所望する場合でない限り不要な追加の処理ステップが必要になる。その代わりに、ベデスタル磁極端層PT1bをギャップ層の下に画定する前に、ギャップ層を、イオン・ビームによってミリングするか、化学エッチングによって画定することができる。重要なことに、この2つの発見を用いて、2 μ m未満のトラック幅を達成できる。これに対して、3 μ m未満のトラック幅を有する誘導ヘッドは存在しない。

【0019】

【実施例】ここで図面を参照するが、図中で同一の符号は、同様の図を通じて類似または同様の部品を示す。図1には、回転する磁気ディスク42を含む磁気ディスク駆動装置40が示されている。磁気ディスク42は、駆動装置制御源(図示せず)からの制御信号に応答するモーター44によって回転される。磁気ディスク42が回転する時、スライダ48に取り付けられた薄膜MR複合ヘッド(以下、MR複合ヘッドと呼称する)46が、「エア・ベアリング」と称する空気の薄い層によって、磁気ディスク42の表面の上に支持される。MR複合ヘッド46には、MR読取りヘッド50と書込みヘッド52が含まれる。スライダ48とMR複合ヘッド46の底面は、スライダのエア・ベアリング面(以下、ABSと呼称する)54の平面内にある。ABS54は、磁気ディスクが回転している時に、MR複合ヘッド46の浮上高さである距離dだけ磁気ディスク42の表面から離隔している。スライダ48は、駆動装置電子回路58とヘッドの間で読書信号を伝えるための手段を含むヘッド・サスペンション・アセンブリ56に接続される。駆動装置の上記の諸構成要素は、駆動装置ハウジング59内に

取り付けられる。

【0020】書込みヘッド52の磁極端要素を、回転する磁気ディスクのトラック62に対する動作関係で図2の符号60に概略的に示す。書込みヘッドによってトラックに記録された情報を表す磁束反転を、符号64に概略的に示す。トラックの長さの1インチあたりの磁束反転の個数が、読取りヘッドの線密度またはビット密度の尺度である。書込みヘッドのギャップ長を短縮する時、ビット密度が高まる。もう1つの重要な尺度が、符号60の書込みヘッドのTPIである。書込みヘッドの磁極端要素の幅が狭ければ狭いほど、TPIが大きくなる。ビット密度とTPIの積から、書込みヘッドの面密度が得られる。これは、磁気ディスクの単位面積あたりに書き込むことのできる情報の量の尺度である。

【0021】図3は、MR読取りヘッド50と書込みヘッド52を示す、MR複合ヘッド46の部分図である。MR複合ヘッド46は、スライダ48に取り付けられる。

【0022】図3からわかるように、MR読取りヘッド50には、底ギャップ層G1と頂ギャップ層G2の間に挟まれた磁気抵抗要素MRが含まれ、これらのギャップ層は、第1シールド層S1と第2シールド層S2の間に挟まれている。MR複合ヘッドでは、以下に詳細に説明するように、MR読取りヘッド50の第2シールド層S2が、書込みヘッド52の底極片P1としても働く。

【0023】図5からわかるように、書込みヘッド52には、エア・ベアリング面(ABS)と0スロート・レベルの間に置かれる磁極端領域と、0スロート・レベルからバック・ギャップまで後ろに延びバック・ギャップを含むヨーク領域またはバック領域が含まれる。書込みヘッド52には、底極片P1と頂極片P2が含まれる。底極片P1は、MR読取りヘッド50の第2シールド層S2を構成する。底極片P1と頂極片P2のそれぞれが、バック領域に置かれるバック層部分を有し、極片のバック層部分は、バック・ギャップ(BG)で磁氣的に結合される。底極片P1には、ABSと0スロート・レベルの間の磁極端領域に置かれる磁極端構造が含まれる。この磁極端構造には、下側の磁極端要素PT1aと上側のベデスタル磁極端層PT1bが含まれる。頂極片P2には、ABSと0スロート・レベルの間の磁極端領域に置かれる磁極端構造が含まれる。この磁極端構造には、磁極端要素PT2が含まれる。磁極端要素PT1aとベデスタル磁極端層PT1bは、MR読取りヘッド50の第2シールド層S2から一体式に形成されるが、これについては後で詳細に説明する。ギャップ層(G)は、ベデスタル磁極端層PT1bと頂磁極端要素PT2の間に挟まれる。この層の所望の厚さ(ギャップ長)は、約0.3 μ mであり、これによって、書込みヘッドの磁束強度を犠牲にすることなく書込みヘッドの線密度が最適化される。しかし、許容可能なギャップ長は、

0.1 μm から0.7 μm までの範囲におよぶ。ギャップ層Gは、バック・ギャップBGまで延ばすか、その代わりに0スロット・レベルで打ち切ることができる。

【0024】第1絶縁層I₁を、フォトリソグラフィなどの適当な方法によってギャップ層Gの上に堆積する。第1絶縁層I₁の上に、フォトレジスト・フレームめっきなどの適当な方法によってコイル状導体70を堆積させる。コイル状導体70の上に、フォトリソグラフィなどの適当な方法によって、第2絶縁層I₂および第3絶縁層I₃を堆積する。

【0025】MR複合ヘッド46を「併合」と称するのは、図5および図6に示されるように、底極片P1とその磁極端がMR読取りヘッドの第2シールド層S2を構成するからである。併合ヘッドの特徴の1つが、余分の磁性層を堆積する処理ステップが不要になることである。しかし、図6からわかるように、ギャップ層Gの両側面を超える第2シールド層S2の大きな幅が、頂磁極端要素PT2の幅を越えて第2シールド層S2に向かって磁束を広げさせる。この「サイドフリッジ(side-fringing)」磁束が、サイドライティングを引き起こし、これがオフトラック性能を低下させる可能性がある。この問題は、第2シールド層S2をギャップ層Gの両側、符号78および79の位置で切り欠いて、ベデスタル磁極端層PT1bを形成するベデスタルを有する第2シールド層S2をもたらすことによって克服された。ベデスタル磁極端層PT1bの下には、磁極端要素PT1aと称する区域がある。磁極端要素PT1aとベデスタル磁極端層PT1bは、第2シールド層S2を構成する底極片P1の前方延長である。第2シールド層S2の幅は、MR読取りヘッド50のMR要素を効果的にシールドするのに十分な幅である。この幅は、磁極端要素の幅が2 μm であるのに対して、50 μm 程度とすることができる。第2シールド層S2の切欠78および79が、垂直の第1側壁80および第2側壁82を有するベデスタル磁極端層PT1bをもたらすことに留意されたい。同様に、ギャップ層Gは、垂直の第1側壁84および第2側壁86を有する。ギャップ層Gの上にある頂磁極端要素PT2は、垂直の第1側壁88および第2側壁90を有する。ベデスタル磁極端層PT1bの第1側壁80、ギャップ層Gの第1側壁84および頂磁極端要素PT2の第1側壁88は、第1垂直面100内で連続しており、第2側壁82、86および90は、第2垂直面102内で連続している。図6からわかるように、第1垂直面100と第2垂直面102は、ABSで互いに等間隔に置かれて、書込みヘッド52のトラック幅wを形成する。第1垂直面100と第2垂直面102は、ABSに対して垂直でもある。第1垂直面100と第2垂直面102は、ABSから0スロット・レベルまでの全体にわたって等間隔であることが好ましい。しかし、望むならば、これらをABSから開く形にすることができる。第1垂

直面100と第2垂直面102内の磁極端要素の側壁の垂直位置合せは、ベデスタル磁極端層PT1bと組み合わせ、第2シールド層S2の大きな横幅によって引き起こされるサイドライティングを最小にするために重要である。このベデスタル磁極端層PT1bの重要性を、次の段落で説明する。

【0026】ベデスタル磁極端層PT1bの長さを、以前に可能であると考えられていた長さよりはるかに短くすることができるが発見された。本発明者は、最適の長さを有するベデスタル磁極端層PT1bを形成するための第2シールド層S2の最適切欠深さを決定した。図9ないし図12に、その分析の結果を示す。図9ないし図12のそれぞれでは、(1)底極片(P1)の切り欠かれた書込みヘッドの平面内サイドトラック書込み磁界を示し、(2) μm 単位のアフトラック位置に対して正規化されたヘッド磁界をプロットし、(3)ほとんどのヘッドがディスク媒体の飽和保持力の2.5倍の最大書込み磁界付近で設計されているので、0.4の正規化ヘッド振幅で実効フリッジ磁界をとり、(4)ギャップの横中心線に沿ってギャップ層Gの側壁からオフトラック位置を測定し、(5)ギャップ長は0.4 μm であり、(6)回転するディスクの上でのヘッドの浮上高さは0.075 μm であり、(7)「最大」と記された破線は、切欠がなく、したがってベデスタル磁極端層PT1bがなく、その結果、ギャップ層Gが第2シールド層S2の真上にある(図14参照)場合のサイドトラック書込み磁界であり、(8)「最小」と記された破線は、無限の長さのベデスタル磁極端層PT1bのサイドトラック書込み磁界であり、(9)「最大」と「最小」の破線の間にある実線は、分析の結果である。図9では、図5に示されたベデスタル磁極端層PT1bの長さが、ギャップ長の3倍すなわち1.2 μm である。0.4の正規化ヘッド磁界で、サイドトラック書込み磁界が、無限長のベデスタル磁極端層PT1bの最小サイドトラック書込み磁界に非常に近いことがわかる。図10では、ベデスタル磁極端層PT1bの長さが、ギャップ長の2倍すなわち0.8 μm である。0.4正規化ヘッド磁界での結果は、まだ無限長の磁極端要素の最小サイドトラック書込み磁界に非常に近い。図11では、ベデスタル磁極端層PT1bの長さが、ギャップ長の1倍すなわち0.4 μm であるが、それでも、「最大」の破線によって表される磁極端が存在しない場合よりも「最小」の破線によって表される無限磁極端に近い性能を有する。図11には、第2シールド層S2の切欠が0.4 μm であっても、0.4 μm の長さのベデスタル磁極端層PT1bによって、ベデスタルが全く存在しない書込みヘッドに対して書込みヘッドのオフトラック性能がかなり改善されることが示されている。図12では、ベデスタル磁極端層PT1bの長さがギャップ長の0.5倍すなわち0.2 μm である。長さが0.2 μm であっても、ベデ

スタル磁極端層PT1bは、0.4の正規化ヘッド磁界で、ベDESTALが全く存在しないヘッドに対して40%の改善をもたらす。

【0027】前述の分析は、ベDESTAL磁極端層PT1bの長さを非常に短くしても、オフトラック性能のかなりの改善を達成できることを実証するものである。この長さの許容可能範囲は、ギャップ長の0.5倍から3.0倍までであり、ギャップ長の2倍が、ベDESTAL磁極端層PT1bの好ましい長さまたは最適長さである。ギャップの長さは、ここで示した0.4 μ m以外の値とすることができ、これを理解されたい。ギャップの長さは、許容可能な性能に関して、0.1 μ mから0.7 μ mまでの範囲でさまざまな値とすることができる。したがって、ベDESTAL磁極端層PT1bの切欠または長さは、所望のギャップ長の0.5倍から3.0倍までとなるはずである。MR要素のシールドに関する第2シールド層S2の性能を変更せずに、MR読取りヘッド50の第2シールド層S2内にベDESTAL磁極端層PT1bを形成できることが、かなり重要である。第2シールド層S2は、通常は7 μ mから8 μ mまでの厚さであり、約1 μ mの切欠は、その性能に影響しない。しかし、望むならば、切欠78および79を考慮に入れてより厚い第2シールド層S2を堆積することができる。重要なことは、この切欠によって、ベDESTAL磁極端層PT1bのために別の層を堆積するステップが節約されることである。しかし、第2シールド層S2の上に別の層を堆積した後に、第2シールド層S2と異なる材料からなるベDESTAL磁極端層PT1bを設けるため適当に切欠を作ることができることを理解されたい。これは、ベDESTAL磁極端層PT1bが第2シールド層S2と異なる材料からなる場合に望まれるであろう。たとえば、ベDESTAL磁極端層PT1bを、大量の磁束を扱うために、窒化第2鉄などの高飽和モーメントの材料から構成し、第2シールド層S2を、パーマロイなどの低飽和モーメントの材料から構成することができる。第2シールド層S2と異なる材料からなるベDESTAL磁極端層PT1bの構成は、後で詳細に説明する。

【0028】ベDESTAL磁極端層PT1bの長さの短縮は、重要な発見であるが、図6に示されるように、ベDESTAL磁極端層PT1bおよび磁極端要素PT2bの側壁が、ABSで互いに垂直に位置合せされることも重要である。これらの垂直側壁を達成するための構成の方法は、下の「MR複合ヘッドを製造する方法」で詳細に説明するもう1つの発見である。

【0029】ここで、図5および図6のMR複合ヘッド46の性能を、図14および図15の従来技術のMR複合ヘッドと比較することができる。従来技術のMR複合ヘッドでは、頂磁極端層PT2が、間にギャップ層Gを挟んで第2シールド層S2の上に形成される。第2シールド層S2は、底極片P1として働き、その前方延長で

は、底磁極端層PT1として働く。頂磁極端層PT2を第2シールド層S2から分離する唯一の要素が、ギャップ層Gである。第2シールド層S2の横幅が頂磁極端層PT2の幅と比較して大きいので、頂磁極端層PT2からその幅を超えて第2シールド層S2へ、かなりのサイドフリンジ磁束が延びる。これは、かなりのサイドライティングと貧弱なオフトラック性能をもたらす。磁束は、頂磁極端層PT2と、底磁極端層PT1として働く第2シールド層S2の間を進み、頂磁極端層PT2の側壁によって形成される平面内に完全に収まることが望ましい。図5および図6のMR複合ヘッドが達成するのは、この望ましい性能である。

【0030】図13に、従来技術の誘導ヘッドをABSから見た図を示す。この誘導ヘッドには、ギャップ層Gによって分離された底磁極端層PT1と頂磁極端層PT2が含まれる。誘導ヘッドは、底磁極端層PT1、ギャップ層Gおよび頂磁極端層PT2を使用して、読取り機能と書き込み機能の両方を実行する。書き込み機能の間には、図示されないコイルが、底磁極端層PT1と頂磁極端層PT2に磁束を誘導して、書き込み動作を実行する。読取り動作の間には、底磁極端層PT1および頂磁極端層PT2とそれらの対応する極片が、同一のコイルに磁束を誘導して、読取り動作を実行する。この従来技術の誘導ヘッドのオフトラック性能は、図14および図15に示された従来技術のMR複合ヘッドのオフトラック性能より良い。というのは、底磁極端層PT1および頂磁極端層PT2の側壁が垂直により近く位置合せされているからである。しかし、誘導ヘッドの従来技術の構成では、必然的に底磁極端層PT1および頂磁極端層PT2が基板に向かって幅広くなる結果となる。頂磁極端層PT2および底磁極端層PT1の両方が、この順番で、その構成の間に下向きのイオン・ビームによってミリングされる。イオン・ビームを真下に向ける時、ミリングされた層のかなりの量の再堆積が、ミリングされる磁極端要素の側壁に累積し、頂磁極端層PT2が下の底磁極端層PT1をシャドーイングし、このため図13に示された外向きのテーパー状の形状がもたらされる。頂磁極端層PT2と対比して幅広の底磁極端層PT1は、多少の望ましくないサイドライティングを引き起こす。さらに、両方の磁極端のイオン・ミリング(8 μ mないし10 μ m)には、長時間を要する。

【0031】図7および図8は、図5および図6に示された実施例からわずかに修正された本発明のもう1つの実施例を示す図である。図7および図8の実施例では、頂極片P2が、磁極端要素PT2aを形成する前方延長を有する頂磁性層110と、磁極端要素PT2bを形成する前方延長を有する底磁性層112から構成される。磁極端要素PT2bは、垂直の第1側壁114および第2側壁116を有し、磁極端要素PT2aは、垂直の第1側壁118および第2側壁120を有する。図8から

21

わかるように、ベDESTAL磁極端層PT1bの第1側壁80、ギャップ層Gの第1側壁84、磁極端要素PT2bの第1側壁114および磁極端要素PT2aの第1側壁118は、それぞれ第1垂直面100内にあり、ベDESTAL磁極端層PT1bの第2側壁82、ギャップ層Gの第2側壁86、磁極端要素PT2bの第2側壁116および磁極端要素PT2aの第2側壁120は、第2垂直面102内にある。磁極端要素PT2aは、その下の磁極端要素と垂直に位置合せされた側壁を有する状態で図示されているが、磁極端要素PT2bがギャップ層Gの長さの約3倍の長さを有する場合には、これは必要ない。というのは、その長さを超えた距離での磁束の流れがあまり重要でなくなるからである。したがって、磁極端要素PT2aのABSでの横幅を、ベDESTAL磁極端層PT1bおよび磁極端要素PT2bの幅よりかなり広い横幅とすることができる。磁極端要素PT2aおよび磁極端要素PT2bは、磁極端要素PT2bが磁極端要素PT2aと異なる材料であることが所望される時に、2つの別々の層で構成することができる。たとえば、磁極端要素PT2bを、窒化第2鉄などの高飽和モーメントの材料から構成し、磁極端要素PT2aを、パーマロイなどの低飽和モーメントの材料から構成することができる。この配置の場合、磁極端要素PT2bは、飽和せずに大量の磁束を担持することができる。

【0032】下で説明する構成の方法を用いると、MR複合ヘッド46の磁極端要素の幅を、2 μ mまで狭めることができる。これは、図13に示された従来技術の誘導ヘッドの通常の幅である4 μ mないし5 μ mより小さい。図5および図6のベDESTAL磁極端層PT1bおよび頂磁極端要素PT2の幅または図7および図8のベDESTAL磁極端層PT1bおよび磁極端要素PT2bの幅が、MR複合ヘッドの書き込みヘッド部分のトラック幅を確立する。これからTPIを求めることができる。このTPIは、書き込みヘッドの面密度を得る際の係数の1つである。

【0033】図3および図4は、さまざまな詳細を示すために部分切断図の形にした、書き込みヘッドのより完全な実施例を示す図である。図3では、カバー層である底磁性層112の一部が取り除かれ、第2絶縁層12および第3絶縁層13が取り除かれ、コイル状導体70の一部が省略されている。コイル状導体70は、頂極片P2と底極片P1の間にバック・ギャップBGの周囲に延びる。コイル状導体70の一端は、符号73でリード線72に接続され、この導体の他端（図示せず）は、リード線74に接続される。リード線72および74を介してコイル状導体70に信号電流が送られる時、コイル状導体70は、頂極片P2と底極片P1に磁束を誘導する。これが、ABSの磁極端を前後に横切る磁束を誘導する。

【0034】MR複合ヘッドを製造する方法

22

本発明のMR複合ヘッドは、既知の薄膜フォトリソグラフィ・ステップとイオン・ビーム・ミリング・ステップの独自の組合せを使用して構成される。フォトリソグラフィには、フォトレジスト・フレームめっき処理を使用する磁性層の堆積と、フォトレジストおよび現像処理による絶縁層の堆積が含まれる。イオン・ビーム・ミリングは、チャンバ内で実行される。このようなチャンバの内部部品の例を、図16に示す。被加工物（図示せず）は、ターンテーブル130上に置かれ、一定回転数で回転される。回転中に、1つまたは複数のイオン・ビーム132および134が、被加工物に向けられる。これらのイオン・ビームは、アルゴン・イオンであることが好ましい。一次供給源のイオン・ビーム132は、図では垂直下向きであり、二次供給源のイオン・ビーム134は、図では垂直からある角度に向けられている。後で詳細に説明するように、本発明のイオン・ビーム・ミリングは、垂直からある角度にのみ向けられたビームによって達成される。ターンテーブル130上の被加工物（図示せず）に関してイオン・ビームのオン、オフを切り替えるために、シャッタ136をピボット式に取り付ける。

【0035】MR複合ヘッド46のMR読取りヘッド50部分の構成は、当技術分野で周知である。第1シールド層S1、底ギャップ層G1、MR要素、頂ギャップ層G2および第2シールド層S2を、薄膜フォトリソグラフィ処理ステップによって堆積する。図5からわかるように、読取りヘッドの第2シールド層S2は、ABSからバック・ギャップまで、バック・ギャップを含むように堆積され、その結果、第2シールド層S2が、ABSと0スロット・レベルの間の磁極端部分と、0スロット・レベルとバック・ギャップの間のバック部分を有するようになる。書き込みヘッド52の底極片P1が、この第2シールド層S2を構成する。この組合せによって、MR複合ヘッドが画定される。

【0036】本発明の第2の発見は、2つの部分からなる。第1に、頂極片P2の磁極端構造が、底極片P1の磁極端構造にベDESTALをイオン・ビーム・ミリングするためのマスクとして利用される。第2に、イオン・ビームが、単一の角度付きビームまたは1対の角度付きビームのいずれかで、頂磁極端構造の側壁に対してある角度に向けられる。角度付きビームの対が好ましく、これは、順番にまたは同時にのいずれかで向けることができる。どの実施例の機器も、頂磁極端構造に追加の厚さを堆積する。この追加の厚さは、底磁極端構造にベDESTALを形成するためのイオン・ビーム・ミリングによって減らされる。

【0037】本発明の図5および図6の実施例を構成するためにイオン・ビームを向けるためのさまざまな実施例を、図17ないし図23に示す。この実施例では、頂磁極端要素PT2が、底磁極端構造を構成するためのマ

スクとして使用される。本発明の図7および図8の実施例の構成に、同一の方法が使用されるはずである。この実施例では、磁極端要素PT2bだけまたは磁極端要素PT2bおよび磁極端要素PT2aを、底磁極端構造を形成するためのマスクとして使用することができる。

【0038】図17、図18および図19に、底磁極端構造を形成するために順次使用される2つの異なる角度のイオン・ビームの使用を示す。図17には、イオン・ビーム・ミリング中の厚さの減少を見込んで余分の厚さを有する状態で構成された頂磁極端要素PT2が示されている。頂磁極端要素PT2の層の最初の厚さは、2 μ m程度の余分の厚さを含めて7 μ m程度とすることができる。頂磁極端要素PT2は、第1側壁88および第2側壁90と共に形成されるが、頂磁極端要素PT2を形成するための処理は、後で詳細に説明する。図17では、イオン・ビームが、頂磁極端要素PT2の側壁に対して30°の角度に向けられている。イオン・ビームは、図では頂磁極端要素PT2の第2側壁90だけに向けられているが、上で説明したように、ターンテーブル130による被加工物の回転のために、頂磁極端要素PT2の第1側壁88と第2側壁90の両方に向けられる。ギャップ層Gが、P1/S2層の上に堆積され、頂磁極端要素PT2が、ギャップ層Gの上に堆積される。上で述べたように、イオン・ビームを垂直下向きに向ける時、かなりの量のカットされた材料(屑)が、ミリングされる要素の側壁に再堆積する。図17に示されるように、ビームを頂磁極端要素PT2の側壁に対して30°の角度にすることによって、かなりのカットが発生するが、このビームは、カット動作中にある程度の屑の除去も実行する。30°が好ましい角度であるが、この角度は、2角度実施例の場合には20°から40°の範囲とすることができる。図17には、カット動作の開始が示され、図18には、カット動作の最終結果が示されている。このカット動作の間に、頂磁極端要素PT2は、第2シールド層S2にベDESTAL磁極端層PT1bをカットするためのマスクとして働く。図19に示されるように、30°イオン・ビームの後に75°イオン・ビームを用いて、30°動作から残された再堆積を除去する。再堆積の除去には75°イオン・ビームが好ましいが、これは、頂磁極端要素PT2の側壁に対して65°から85°までの範囲とすることができる。カット動作中に、頂磁極端要素PT2の厚さが、2 μ mなど、追加された追加厚さ(図17参照)だけ減らされていることに留意されたい。驚くべき結果は、このミリングの後に、ベDESTAL磁極端層PT1bの側壁が、頂磁極端要素PT2の側壁と位置合せされていることである。ベDESTAL磁極端層PT1bは、第2シールド層S2に符号78および79で切欠を設けることによって形成された。ギャップ層Gは、30°および75°のビームによってイオン・ミリングするか、その代わりに、イオン・

ビーム・ミリングの前にその幅まで化学エッチングすることができる。

【0039】図20および図21は、30°ビームと75°ビームを同時に向けてカット動作と除去動作を行う点を除いて、図17、図18および図19の実施例に類似した、イオン・ビーム・ミリングの実施例を示す図である。

【0040】図22および図23は、ベDESTAL磁極端層PT1bを画定するためのカットと除去の両方に単一のイオン・ビームを使用する、イオン・ビーム・ミリングの実施例を示す図である。前に説明した2角度ビーム手法は、単一ビームより好ましい。しかし、この単一ビームを用いて満足な結果を得ることができる。単一ビームの好ましい角度は55°であるが、この角度は、許容可能範囲として45°から65°まで変更することができる。

【0041】図24ないし図28は、本発明の図5および図6の実施例の磁極端要素を構成する際の追加の詳細を示す図である。図24では、フォトレジスト・フレームを利用して、頂極片P2とその頂磁極端要素PT2をめっきしている。このめっき動作によって、フレームの外側もめっきされ、これをP2フィールドと称する。図25では、フォトレジスト・フレームが取り除かれており、両側にP2フィールドを有する頂磁極端要素PT2が残されている。図25では、ギャップ層GがP1/S2層の上に堆積され、頂磁極端要素PT2がギャップ層Gの上に堆積されたことがわかる。フレームめっき処理の場合、頂磁極端要素PT2は、本来備わったものとして垂直方向の第1側壁88および第2側壁90を有する状態で構成される。図26では、P2フィールドが取り除かれ、頂磁極端要素PT2を露出する開口または窓140を有するフォトレジスト・マスクが、頂極片P2の上に置かれている。このレジスト窓は、図27により明瞭に示されている。その後、上で述べたように、このレジスト窓を介して1つまたは複数のイオン・ビームを向け、図28に示されるように、P1/S2層に切欠を設けてベDESTAL磁極端層PT1bをもたらす。

【0042】図29ないし図33は、本発明の図7および図8の実施例の磁極端構造を作るための処理ステップを示す図である。これらのステップは、図30に示されるように2つの磁極端要素PT2aおよびPT2bをもたらすために頂極片P2が2層を用いて構成される点を除いて、図24ないし図28に関して説明したステップと同一である。イオン・ビーム・ミリングの後に、図33に示されるように、ベDESTAL磁極端層PT1bが形成され、頂磁極端構造に、磁極端要素PT2aおよびPT2bが含まれる。上で述べたように、磁極端要素PT2bは、磁極端要素PT2aと異なる材料とすることができる。図34は、イオン・ビーム・ミリングの前に第2シールド層S2の上に磁性層が置かれる場合の追加の

実施例を示す図である。この場合、底磁極端構造に、2つのベドスタル磁極端要素すなわち、ベドスタル磁極端層PT1bおよびPT1cが含まれるはずである。やはり、ベドスタル磁極端層PT1cは、ベドスタル磁極端層PT1bと異なる材料とすることができる。磁極端要素PT2bおよびベドスタル磁極端層PT1cは、窒化第2鉄などの高飽和モーメントの材料($4\pi\text{ms}$)から構成でき、ベドスタル磁極端層PT1bおよび磁極端要素PT2aの材料は、パーマロイなどの低飽和モーメントの材料とすることができる。高飽和材料を用いると、ギャップ層Gに最も近い磁極端を通じて大量の磁束を飽和せずに通せるようになる。

【0043】このMR複合ヘッドを製作する方法には、第2シールド層S2が、ABSとOスロット・レベルの間の磁極端部分と、Oスロット・レベルとバック・ギャップの間のバック部分とを有するように、バック・ギャップを含めてABSからバック・ギャップまで、読取りヘッドの第2シールド層S2を堆積するステップ(図5および図6参照)と、ABSからOスロット・レベルまで第2シールド層S2の上にギャップ層Gを堆積するステップ(図5および図6参照)と、ギャップ層Gの上に頂磁極端要素PT2を有する頂極片P2を形成するために、ギャップ層Gと第2シールド層S2の上に磁性層を堆積するステップ(図24および図25参照)と、少なくとも1つのイオン・ビームを、頂磁極端要素PT2の両側で符号78および79にS2層に切欠を設けるためのマスクとして頂磁極端要素PT2を使用して、頂磁極端要素PT2の第1側壁88および第2側壁90に対してある角度でABSに実質的に平行な向きで第2シールド層S2の磁極端部分に向けるステップとが含まれて、切欠がベドスタルを有する第2シールド層S2を残し、ベドスタルがベドスタル磁極端層PT1bであり、ベドスタル磁極端層PT1bを除く、ABSとOスロット・レベルの間の第2シールド層S2が磁極端要素PT1aであり(図17ないし図19参照)、ベドスタル磁極端層PT1bの第1側壁80および頂磁極端要素PT2の第1側壁88が第1垂直面100内で位置合せされ、ベドスタル磁極端層PT1bの第2側壁82および頂磁極端要素PT2の第2側壁90が第2垂直面102内で位置合せされ、第1垂直面100と第2垂直面102がMR複合ヘッドのトラック幅wを画定するようにABSで互いに離隔される(図6参照)ことが、簡単に明らかになる。少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップには、第1および第2のイオン・ビームを含めることができ、第1イオン・ビームは、 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲内の角度 θ とし、第2イオン・ビームは、 $60^\circ \leq \theta \leq 85^\circ$ の範囲内の角度 θ とすることができる。ギャップ層Gを堆積するステップには、 $0.1\mu\text{m}$ から $0.7\mu\text{m}$ までの範囲の長さgを画定する厚さを有し、ABSでのベドスタル磁極端層PT1bの長さが 0.5g から

3.0gまでの範囲である、ギャップ層を設けるステップを含めることができる。少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップに、各切欠が約 $0.7\mu\text{m}$ の深さになるように符号78および79で第2シールド層S2を切り欠き、これによって、約 $0.7\mu\text{m}$ の長さを有するベドスタル磁極端層PT1bを設けるステップを含めることができる。少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップに、頂磁極端要素PT2の層厚さを約 $2\mu\text{m}$ 減少させるステップが含まれる。

【0044】前述の発見を用いると、MR複合ヘッドが、併合MR読取りヘッドの第2シールド層S2に関して底磁極端要素がベドスタルである、ギャップ層に隣接する垂直に位置合せされた磁極端を有することが可能になることが簡単に明らかになる。この側壁の垂直位置合せによって、磁極端の間のサイドライティングの最小化が最適化される。

【0045】明らかに、当業者であれば、本発明の他の実施例および修正を簡単に思い浮かべるであろう。したがって、本発明は、請求の範囲によってのみ制限されるべきであり、これには、上記明細書および添付図面と共に眺めた時のそのような実施例および修正が含まれる。

【0046】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0047】(1)底極片P1と頂極片P2とを有する書込みヘッドを含み、前記底極片P1が底磁極端要素PT1aと頂磁極端要素PT1bとを有し、前記頂極片P2が磁極端要素PT2を有することを特徴とし、前記底極片とその磁極端要素PT1aとを含む第2シールド層S2を有するMR読取りヘッドを含み、前記頂磁極端要素PT1bが、第2シールド層S2に関してベドスタルを形成することを特徴とし、前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれが、第1および第2の側壁を有し、前記頂磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第1側壁が、共通して第1垂直面内にあり、前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第2側壁が、共通して第2垂直面内にあることを特徴とし、前記第1および第2の垂直面が、エア・ベアリング面(ABS)において、書込みヘッド・トラック幅を表す距離wだけ互いに離隔して置かれることを特徴とする、MR複合ヘッド。

(2)ハウジングと、ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、上記(1)に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

(3)前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて、前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(4) 前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2の間に置かれたギャップ層Gを含み、該ギャップ層Gが、第1および第2の側壁を有し、前記ギャップ層Gの第1側壁が、前記第1垂直面内に置かれ、前記ギャップ層Gの第2側壁が、前記第2垂直面内に置かれることを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(5) 前記磁極端要素PT2が単一層であることを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(6) 前記磁極端要素PT2が磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(7) 前記MR読取りヘッドが、前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G2と、前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(8) 前記第1垂直面と前記第2垂直面との間の距離が $5\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(9) 前記ABSでのギャップGの長さがgであり、前記ABSでの前記頂磁極端要素PT1bの長さが、 $0.5g$ から $3.0g$ までの範囲内にあることを特徴とする、上記(1)に記載のMR複合ヘッド。

(10) 前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、上記(9)に記載のMR複合ヘッド。

(11) ハウジングと、ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、上記(10)に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

(12) 前記頂磁極端要素PT1bおよび前記磁極端要素PT2の間に置かれたギャップ層Gを含み、該ギャップ層Gが、第1および第2の側壁を有し、前記ギャップ層Gの第1側壁が、前記第1垂直面内に置かれ、前記ギャップ層Gの第2側壁が、前記第2垂直面内に置かれる、上記(10)に記載のMR複合ヘッド。

(13) 前記MR読取りヘッドが、前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G2と、前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、上記(12)に記載のMR複合ヘッド。

(14) 前記ギャップGの長さgが、 $0.1\mu\text{m}$ から

$0.7\mu\text{m}$ までの範囲内にあり、前記ABSでの磁極端要素の長さが、実質的に $2.0g$ であることを特徴とする、上記(13)に記載のMR複合ヘッド。

(15) 前記磁極端要素PT2が、単一層であることを特徴とする、上記(14)に記載のMR複合ヘッド。

(16) 前記磁極端要素PT2が、磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特徴とする、上記(14)に記載のMR複合ヘッド。

(17) 底極片P1と頂極片P2とを有する書込みヘッドを含み、前記底極片P1が、底磁極端要素PT1aと頂磁極端要素PT1bとを有し、前記頂極片P2が、磁極端要素PT2を有し、前記底磁極端要素PT1aが、前記頂磁極端要素PT1bの幅よりも広い幅を有することを特徴とし、前記底磁極端要素PT1aを含む前記底極片を含む第2シールド層S2を有するMR読取りヘッドを含み、前記頂磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2に関してベDESTALであることを特徴とし、前記頂磁極端要素PT1bが、頂薄膜面、第1側壁、第2側壁および前壁を有し、前壁が、エア・ベアリング面(ABS)の一部を形成し、頂薄膜面が、前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれることを特徴とし、前記磁極端要素PT2が、頂薄膜面、底薄膜面、前壁、第1側壁および第2側壁を有し、前壁が、ABSの一部を形成し、頂薄膜面および底薄膜面が、前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれることを特徴とし、前記頂磁極端要素PT1bの頂薄膜面と前記磁極端要素PT2の底薄膜面との間に挟まれ、頂薄膜面、底薄膜面、前壁を有し、前壁が前記ABSの一部を形成し、頂薄膜面および底薄膜面が前壁、第1側壁および第2側壁によって囲まれる、ギャップ層Gを含み、前記頂磁極端要素PT1b、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第1側壁が、第1垂直面内で連続しており、前記頂磁極端要素PT1b、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT2のそれぞれの第2側壁が、第2垂直面内で連続していることを特徴とし、前記第1垂直面および前記第2垂直面のそれぞれが、前記ABSに対して垂直であり、前記ABSの位置で、前記書込みヘッドのトラック幅である距離wだけ互いに離れていることを特徴とするMR複合ヘッド。

(18) 前記底磁極端要素PT1aおよび前記頂磁極端要素PT1bのそれぞれが、別々の磁性層であり、前記磁極端要素PT2が、頂磁極端要素PT2aと底磁極端要素PT2bとを含み、前記頂磁極端要素PT1bおよび前記底磁極端要素PT2bの材料が、前記底磁極端要素PT1aおよび前記頂磁極端要素PT2aの材料より高いモーメントの飽和を有することを特徴とする、上記(17)に記載のMR複合ヘッド。

(19) 前記ABSでのギャップGの長さがgであり、前記ABSでの前記頂磁極端要素PT1bの長さが、実

質的に2.0gであることを特徴とする、上記(17)に記載のMR複合ヘッド。

(20) 前記ギャップGの長さgが、0.1 μ mから0.7 μ mまでの範囲内にあることを特徴とする、上記(19)に記載のMR複合ヘッド。

(21) 前記第2シールド層S2が、前記底磁極端要素PT1aに加えて、前記頂磁極端要素PT1bを含むことを特徴とする、上記(20)に記載のMR複合ヘッド。

(22) 前記MR読取りヘッドが、前記第2シールド層S2に加えて第1シールド層S1と、該第1シールド層S1と前記第2シールド層S2との間に挟まれた第1ギャップ層G1および第2ギャップ層G2と、前記第1ギャップ層G1と前記第2ギャップ層G2との間に挟まれたMR素子とを含むことを特徴とする、上記(21)に記載のMR複合ヘッド。

(23) ハウジングと、ハウジング内に取り付けられた、磁気ディスクを回転するための手段と、磁気ディスクが回転するための手段によって回転する時に、磁気ディスクに関して変換関係にMR複合ヘッドを支持するための、スライダを含む、ハウジング内に取り付けられた支持手段とを含む、上記(22)に記載のMR複合ヘッドを含む磁気ディスク駆動装置。

(24) 前記磁極端要素PT2が磁極端要素PT2aおよびPT2bを含み、前記磁極端要素PT2aおよびPT2bのそれぞれが、別々の層であることを特徴とする、上記(22)に記載のMR複合ヘッド。

(25) 磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれが第1側壁と第2側壁とを有する、磁極端要素PT1a、PT1bおよびPT2と、前記磁極端要素PT1aを含む第2シールド層S2を含むMR読取りヘッドとを含み、前記磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2に関してベDESTALであることを特徴とし、前記磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第1側壁が、第1垂直面内に位置合せされ、前記磁極端要素PT1bおよびPT2のそれぞれの第2側壁が、第2垂直面内に位置合せされることを特徴とし、前記第1および第2の垂直面が、ABSで、MR複合ヘッドのトラック幅を画定する距離wだけ互いに離隔して置かれることを特徴とするMR複合ヘッド。

(26) 前記第2シールド層S2が、前記磁極端要素PT1aに加えて、前記磁極端要素PT1bを含み、前記磁極端要素PT2が、単一層であることを特徴とする、上記(25)に記載のMR複合ヘッド。

(27) 前記ABSでのギャップGの長さがgであり、該ギャップGの長さgが、0.1 μ mから0.7 μ mまでの範囲内にあり、前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、0.5gから3.0gまでの範囲内にあることを特徴とする、上記(26)に記載のMR複合ヘッド。

(28) エア・ベアリング面(ABS)と0スロート・レベルとの間に延びる未画定の磁極端部分を有し、前記ABSからバック・ギャップまで延び、該バック・ギャップを含む底極片P1と、MRヘッドの第2シールド層S2とを形成するため少なくとも1つの磁性層を堆積するステップと、前記ABSと前記0スロート・レベルとの間に延び、第1および第2の垂直側壁を有する画定された磁極端要素PT2と共に形成される頂極片P2を、前記バック・ギャップを含めて前記ABSから前記バック・ギャップまで、前記底極片P1の上に形成するためもう1つの磁性層を堆積するステップと、前記底極片P1に関してベDESTALであり、前記磁極端要素PT2の前記第1および第2の垂直側壁に対してそれぞれ位置合せされる第1および第2の垂直側壁を有する磁極端要素PT1bと、磁極端要素PT1aとに、底極片P1を形成するため、前記磁極端要素PT2の各側面上で前記底極片P1を垂直に切り欠くため、画定された前記磁極端要素PT2をマスクとして使用して、画定された前記磁極端要素PT2の側壁に対して角度 θ で、前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップとを含む、エア・ベアリング面(ABS)によって部分的に囲まれる頂部および底部を有するMR複合ヘッドを製造する方法。

(29) 前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップの前に、前記頂極片P2の上にフォトレジスト・マスクを堆積するステップと、画定された前記磁極端要素PT2が、前記底極片P1の未画定の磁極端部分に少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップのためのマスクとして働くことができるように、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域を露出する開口を前記フォトレジスト・マスク内に設けるステップとを含む、上記(28)に記載の方法。

(30) 前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記底極片P1の未画定の磁極端部分にイオン・ビームを向ける前に、ギャップ層Gにイオン・ビームを向けるステップを含むことを特徴とし、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記ギャップ層Gに磁極端要素PT1bおよびPT2の第1および第2の垂直側壁とそれぞれ位置合せされる第1および第2の垂直側壁を設けることを特徴とする上記(28)に記載の方法。

(31) 前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、前記ギャップ層Gを堆積するステップが、ABSで0.1 μ mから0.7 μ mまでの

31

範囲内の長さ g を有するギャップ層をもたらしことを特徴とし、前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、実質的に $2.0g$ であることを特徴とする上記(28)に記載の方法。

(32) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、単一の角度 θ で単一のイオン・ビームを向けることからなることを特徴とする、上記(28)に記載の方法。

(33) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、第1イオン・ビームが、 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、第2イオン・ビームが、 $60^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、上記(28)に記載の方法。

(34) 前記第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、上記(33)に記載の方法。

(35) 前記第1イオン・ビームが、実質的に 30° の角度 θ であり、前記第2イオン・ビームが、実質的に 75° の角度 θ であることを特徴とする、上記(34)に記載の方法。

(36) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、磁極端層PT2の厚さを減少させ、前記磁極端要素PT2を堆積するステップが、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップによって引き起こされる前記磁極端要素PT2の厚さの減少である追加厚さを有する磁極端層PT2を堆積するステップを含むことを特徴とする、上記(28)に記載の方法。

(37) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップの前に、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域とを露出させる窓を前記ABSと0スロート・レベルとの間のマスク内に残して、前記頂極片P2層の上で実質的に0スロート・レベルとバック・ギャップとの間にマスクを堆積するステップを含む、上記(36)に記載の方法。

(38) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、単一の角度 θ で単一のイオン・ビームを向けることからなり、前記角度 θ が、 $0^\circ < \theta < 60^\circ$ の範囲内であることを特徴とする、上記(37)に記載の方法。

(39) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、第2イオン・ビームが、 $65^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、上記(37)に記載の方法。

(40) 前記第1イオン・ビームが、実質的に 30° の角度 θ であり、前記第2イオン・ビームが、実質的に 75° の角度 θ であることを特徴とする、上記(39)に記載の方法。

32

(41) 前記もう1つの磁性層を堆積するステップの前に、前記底極片P1の未画定の磁極端部分をカバーするため前記少なくとも1つの磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップを含み、該ギャップ層Gを堆積するステップが、ギャップGに前記ABSでの長さ g をもたらし層厚さをもたらしことを特徴とし、前記ABSでの磁極端要素PT1bの長さが、実質的に $2.0g$ であることを特徴とする上記(40)に記載の方法。

(42) 前記第1および第2のイオン・ビームが、同時に向けられることを特徴とする、上記(41)に記載の方法。

(43) 前記第1および第2のイオン・ビームが、順次向けられることを特徴とする、上記(41)に記載の方法。

(44) 前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、イオン・ビーム・ミリング・チャンバ内に、その上に諸層を堆積された前記底極片P1を置くステップと、前記底極片P1およびその上に堆積された諸層にイオン・ビームを向けている間に、前記底極片P1およびその上に堆積された諸層を一定回転数で回転するステップとを含むことを特徴とする、上記(43)に記載の方法。

(45) 前記ギャップ層Gを堆積するステップが、前記ギャップ層Gに $0.1\mu\text{m}$ から $0.7\mu\text{m}$ までの範囲内の長さ g をもたらしステップを含み、前記別の磁性層を堆積するステップが、約 $7\mu\text{m}$ の層厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、各切欠が約 $0.7\mu\text{m}$ の深さになり、前記ベDESTALが約 $0.7\mu\text{m}$ の高さを有するように、前記底極片P1に切欠を設けるステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の厚さを約 $2\mu\text{m}$ 減少させることを特徴とする、上記(44)に記載の方法。

(46) MR読取りヘッドと書込みヘッドとを含むMR複合ヘッドを製造する方法において、該MR読取りヘッドが、第1および第2のシールド層S1およびS2、該第1および第2のシールド層S1およびS2の間に挟まれた第1および第2のギャップ層G1およびG2、ならびに、該第1および第2のギャップ層G1およびG2の間に挟まれたMR素子を有し、前記書込みヘッドが、エア・ベアリング面(ABS)からバック・ギャップまで延び、該バック・ギャップを含む底極片P1と頂極片P2とを含み、該底極片P1が、第2シールド層S2を構成し、前記底極片P1が、前記ABSと0スロート・レベルとの間に延びる磁極端要素PT1aおよびPT1bを有し、前記頂極片P2が、前記ABSと前記0スロート・レベルとの間に延びる磁極端要素PT2を有し、前記磁極端要素PT1bが、前記第2シールド層S2、前記底極片P1および前記磁極端要素PT1aに関してベ

デスタルであり、前記第2シールド層S2が、前記磁極端要素PT1aおよびPT1bを含み、ギャップ層Gが、前記磁極端要素PT1aおよびPT2の間に挟まれ、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bのそれぞれが、第1および第2の垂直側壁を有し、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bの第1垂直側壁が、第1垂直面内で連続しており、前記磁極端要素PT2、前記ギャップ層Gおよび前記磁極端要素PT1bの第2垂直側壁が、第2垂直面内で連続しており、前記第1および第2の垂直面が、前記ABSに対して垂直であり、MR複合ヘッドのトラック幅を画定する距離wだけABSで互いに離隔しており、(1)前記MR読取りヘッドの前記第2シールド層S2と、(2)前記ABSと0スロート・レベルとの間の未画定の磁極端部分と、前記0スロート・レベルとバック・ギャップとの間のバック部分とを有する前記底極片P1とを形成するために、前記バック・ギャップを含み前記ABSから前記バック・ギャップまで、第1磁性層を堆積するステップと、前記ABSから前記0スロート・レベルまで、前記第1磁性層の上にギャップ層Gを堆積するステップと、前記第1および第2の垂直側壁を有する画定された前記磁極端要素PT2を有する前記頂極片P2を形成するため、前記第1磁性層の上で前記ギャップ層Gの上に第2磁性層を堆積するステップと、前記磁極端要素PT2の各側面上で前記第1磁性層に切欠を設けるためのマスクとして前記磁極端要素PT2を使用して、前記底極片P1の未画定の磁極端部分のある区域内の前記第1磁性層で、前記ABSに実質的に平行で前記磁極端要素PT2の第1および第2の側壁に対して角度 θ の方向に、少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップとを含み、前記切欠によって、垂直のベダスタルを有する前記第1磁性層が残され、前記垂直ベダスタルが、前記磁極端要素PT1bであり、前記磁極端要素PT1bに第1および第2の垂直側壁をもたらす、前記ABSと前記0スロート・レベルとの間の、前記ベダスタルを除く磁性層が、前記磁極端要素PT1aを含み、前記磁極端要素PT1bおよびPT2の第1垂直側壁が、第1垂直面内で位置合せされ、前記磁極端PT1bおよびPT2の第2側壁が、第2垂直面内で位置合せされ、前記第1および第2の垂直面が、前記ABSに対して垂直であり、MR複合ヘッドのトラック幅wを画定するため前記ABSで互いに離隔されることを特徴とする前記方法。

(47)前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、未画定の磁極端部分にイオン・ビームを向ける前に前記ギャップ層Gにイオン・ビームを向けるステップを含み、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT1bおよびPT2の第1および第2の垂直側壁にそれぞれ位置合せされる第1および第2の側壁を前記ギャップ層Gにもたらす

ことを特徴とする、上記(46)に記載の方法。

(48)前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップが、第1および第2のイオン・ビームを向けるステップを含み、前記第1イオン・ビームが、 $20^\circ < \theta < 40^\circ$ の範囲内の角度 θ であり、前記第2イオン・ビームが、 $65^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内の角度 θ であることを特徴とする、上記(46)に記載の方法。

(49)前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の厚さを減少させ、前記磁極端要素PT2を形成するために磁性層を堆積するステップが、前記少なくとも1つのイオン・ビームを向けるステップによって引き起こされる前記磁極端要素PT2の厚さの減少である追加厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含むことを特徴とし、前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップの前に、画定された前記磁極端要素PT2とその各側面上の区域を露出させる窓を前記ABSと前記0スロート・レベルとの間のマスク内に残して、前記頂極片P2の上で実質的に前記0スロート・レベルとバック・ギャップとの間にマスクを堆積するステップを含む上記(48)に記載の方法。

(50)前記ギャップ層Gを堆積するステップが、前記ギャップGに前記ABSでの長さgをもたらす層厚さをもたらすことを特徴とし、前記ABSでの前記磁極端要素PT1bの長さが、0.5gから3.0gまでの範囲内にあることを特徴とする、上記(49)に記載の方法。

(51)前記第1イオン・ビームが、約 30° の角度 θ であり、前記第2イオン・ビームが、約 75° の角度 θ であることを特徴とする、上記(50)に記載の方法。

(52)前記ギャップ層Gを堆積するステップが、0.1 μm から0.7 μm までの範囲内の厚さgを有するギャップ層Gを堆積するステップを含み、前記磁極端要素PT2を堆積するステップが、約7 μm の層厚さを有する前記磁極端要素PT2を堆積するステップを含み、前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、約0.7 μm の深さである深さを有する切欠を前記第1磁性層に設け、これによって、約0.7 μm の高さを有するベダスタルを設けるステップを含み、前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、前記磁極端要素PT2の層厚さを約2 μm 減少させることを特徴とする、上記(51)に記載の方法。

(53)前記第1および第2のイオン・ビームを向けるステップが、イオン・ビーム・ミリング・チャンバ内に、その上に諸層を堆積された第1磁性層を置くステップと、前記第1磁性層およびその上に堆積された諸層にイオン・ビームを向けている間に、前記第1磁性層およびその上に堆積された諸層を一定回転数で回転するステップとを含むことを特徴とする、上記(52)に記載の方法。

(54) 前記第1および第2のイオン・ビームが、同時に向けられることを特徴とする、上記(53)に記載の方法。

(55) 前記第1および第2のイオン・ビームが、順次向けられることを特徴とする、上記(53)に記載の方法。

【0048】

【発明の効果】本発明の実施により、(1)サイドライティングを最小化するために垂直に位置合せされた磁極端を有する薄膜磁気ヘッドを提供し、(2)オフトラック性能を改良された薄膜MR複合ヘッドを提供し、

(3) その中の磁気抵抗要素のシールドとして働き、良好なオフトラック性能を有する書き込みヘッドの磁極端としても働く第2シールド層S2を有するMR複合ヘッドを提供し、(4) 第2シールド層S2が小さな高さのベデスタルを有し、このベデスタルが磁極端層PT1bとして働き、その下のS2層が書き込みヘッドの底極片P1の磁極端要素PT1aとして働くことを特徴とし、磁極端層PT1bの側壁が頂磁極端要素PT2の側壁と垂直に位置合せされることを特徴とする、MR複合ヘッドを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の薄膜MR複合ヘッドを使用するディスク駆動装置の、原寸大ではない概略図である。

【図2】磁気ディスク上のトラックの上に位置決めされた薄膜書き込みヘッドの磁極端のクリティカル部分の概略図である。

【図3】MR読取りヘッドの諸層の上に取り付けられた書き込みヘッドの層を有する薄膜MRヘッドの等角図である。

【図4】図3の書き込みヘッドの上面概略図である。

【図5】本発明の薄膜MR複合ヘッドの1実施例の側面図である。

【図6】図5の平面V I - V I に沿ったABSの図である。

【図7】本発明の薄膜MR複合ヘッドのもう1つの実施例の側面図である。

【図8】平面V I I I - V I I I に沿った、図7に示されたヘッドのABSの図である。

【図9】本発明に従って作られたMR複合ヘッドのサイドライティングを示すグラフである。

【図10】本発明に従って作られたMR複合ヘッドのサイドライティングを示すグラフである。

【図11】本発明に従って作られたMR複合ヘッドのサイドライティングを示すグラフである。

【図12】本発明に従って作られたMR複合ヘッドのサイドライティングを示すグラフである。

【図13】従来技術の誘導ヘッドのABSを示す図である。

【図14】従来技術の薄膜MR複合ヘッドのABSを示

す図である。

【図15】図14に示された従来技術の薄膜MR複合ヘッドの側面図である。

【図16】例のイオン・ビーム・チャンバの概略図である。

【図17】頂磁極端要素PT2の側壁に対してある角度で開始されるイオン・ミリングをABS側から見た図である。

【図18】ベデスタル磁極端層PT1bを形成するためにP1/S2層が切り欠かれた、イオン・ミリング・ステップの終りであることを除いて、図17と同一の図である。

【図19】図17および図18のカット動作中の屑の再堆積を除去するために、イオン・ミリングが頂磁極端要素PT2の側壁に対してより深い角度になっている点を除いて、図18と同一の図である。

【図20】図17ないし図19の処理に示されるように、カット用のイオン・ビームと除去用のイオン・ビームが順次向けられるのではなく、同時に向けられる点を除いて、図17と同様の図である。

【図21】ベデスタル磁極端層PT1bを形成するための切欠が完了している点を除いて、図20と同一の図である。

【図22】カットと除去の両方のためにより深い角度の単一のイオン・ビームが用いられている点を除いて、図17と同様の図である。

【図23】ベデスタル磁極端層PT1bを形成するためのカットおよび除去動作が完了している点を除いて、図22と同様の図である。

【図24】垂直の側壁を有する頂磁極端要素PT2を形成するためのステップの上面概略図である。

【図25】フォトリソ・フレームが取り除かれた状態の図24の構造をABS側から見た図である。

【図26】頂磁極端要素PT2を露出されたままにしてマスクされた頂極片P2の上面図である。

【図27】1つまたは複数のイオン・ビームをある角度でそこに向けられるようにするための、頂磁極端要素PT2の上のレジスト窓または開口を示す、図26に示された構造をABS側から見た図である。

【図28】頂磁極端要素PT2の側壁に対してある角度でイオン・ビーム・ミリングを行い、したがって、ベデスタル磁極端層PT1bを形成した後の、結果の磁極端構造を示す図である。

【図29】図24と同様の図である。

【図30】図25と同様の図である。

【図31】図26と同様の図である。

【図32】図27と同様の図である。

【図33】図28と同様の図である。

【図34】ギャップ層Gからさらに離れた磁極端の残りとは異なる材料を得るために追加のベデスタル磁極端層P

37

T1cおよび磁極端要素PT2bが堆積されている点を除いて、図33に類似の図である。

【符号の説明】

G ギャップ層

MR 磁気抵抗要素

P1 底極片

P2 頂極片

PT1 底磁極端要素

PT1a 底磁極端要素

PT1b ペDESTAL磁極端層（頂磁極端要素）

PT1c ペDESTAL磁極端層

PT2 磁極端要素

PT2a 磁極端要素

PT2b 磁極端要素

38

S1 第1シールド層

S2 第2シールド層

40 磁気ディスク駆動装置

42 磁気ディスク

44 モーター

46 薄膜MR複合ヘッド（MR複合ヘッド）

48 スライダ

50 MR読取りヘッド

52 書込みヘッド

10 54 エア・ベアリング面（ABS）

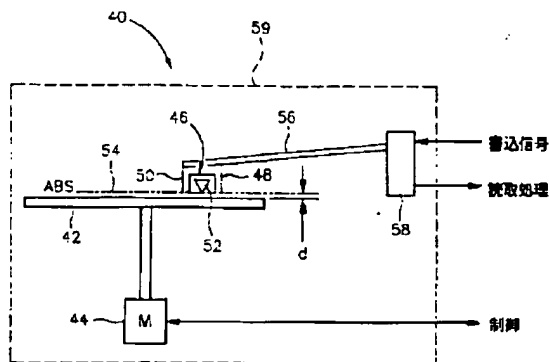
56 ヘッド・サスペンション・アセンブリ

58 駆動装置電子回路

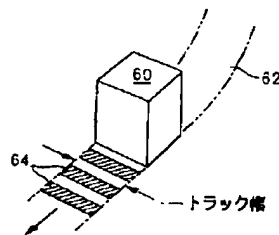
59 駆動装置ハウジング

60 書込みヘッドの磁極端要素

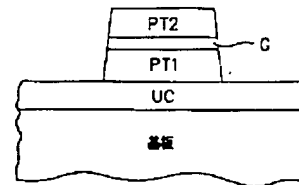
【図1】



【図2】

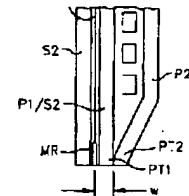


【図13】

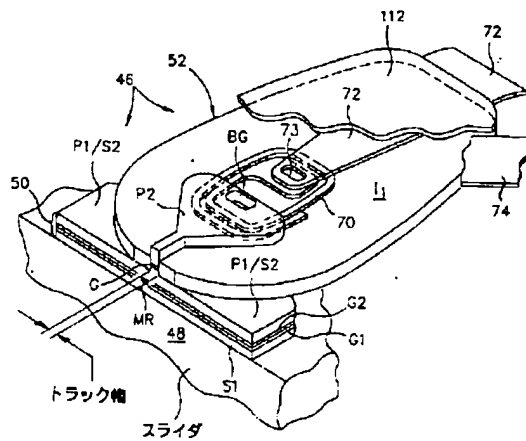


【図15】

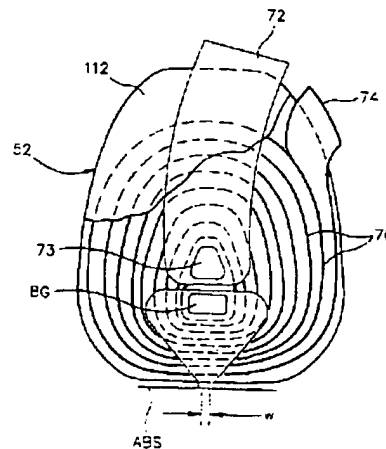
G1およびG2



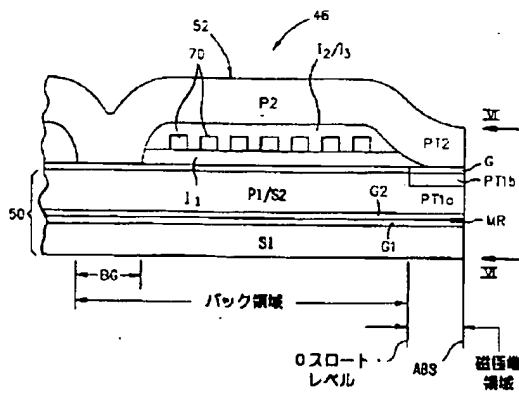
【図3】



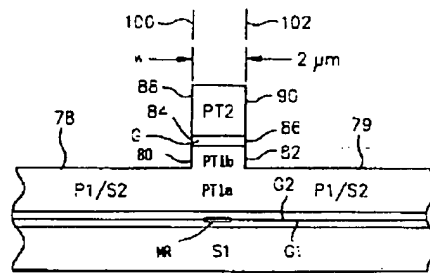
【図4】



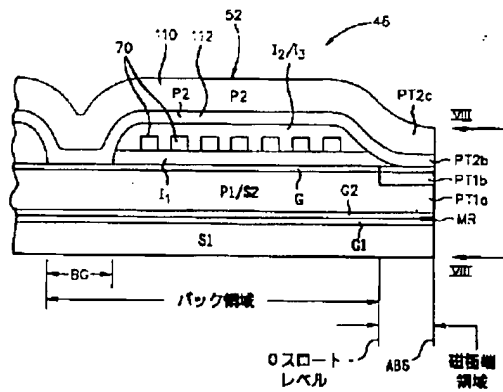
【図5】



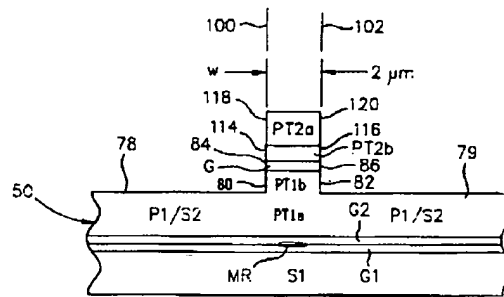
【図6】



【図7】

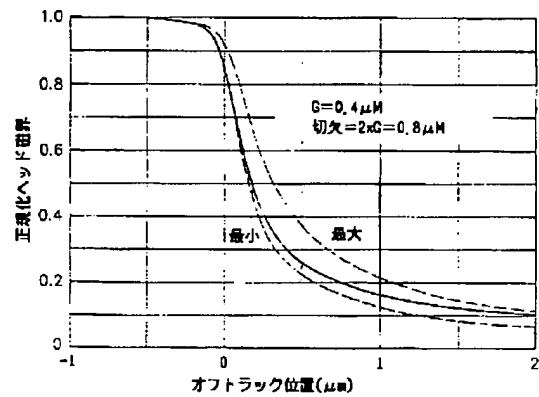


【図8】

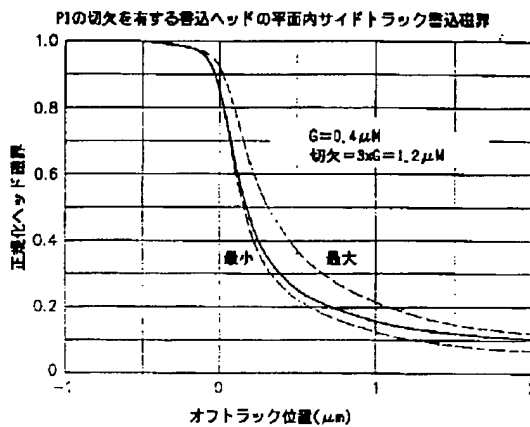


【図10】

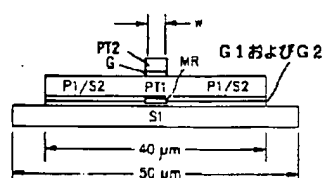
P1の切欠を有する書きヘッドの平面内サイドトラック書き磁界



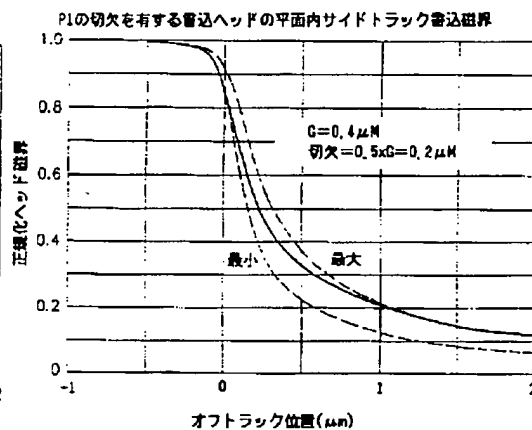
【図9】



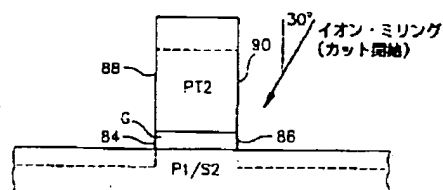
【図14】



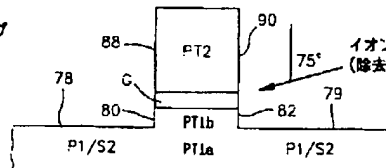
【图 12】



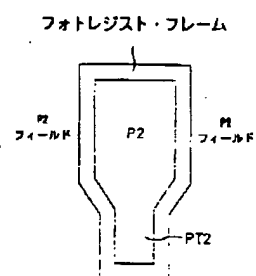
【図17】



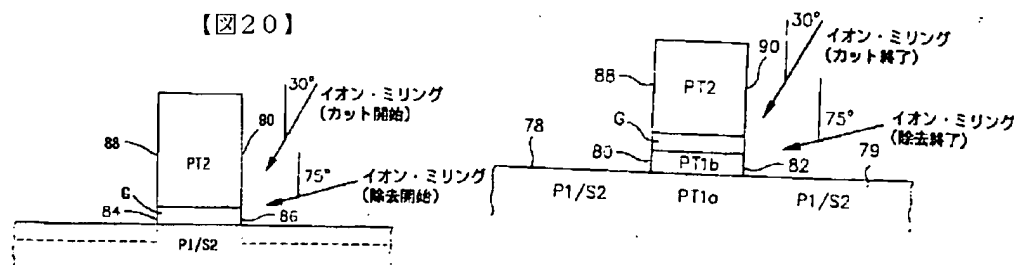
【图19】



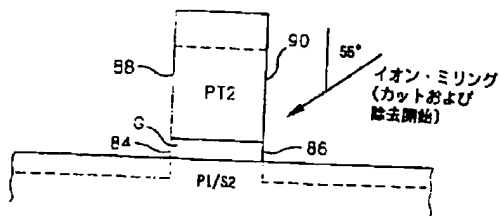
【图24】



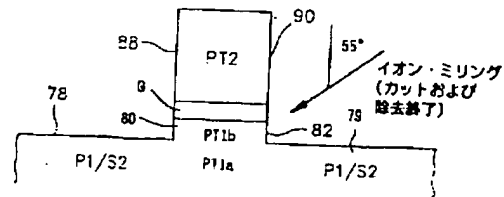
【☒21】



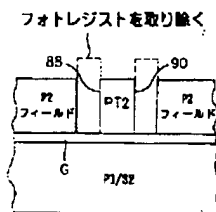
【図22】



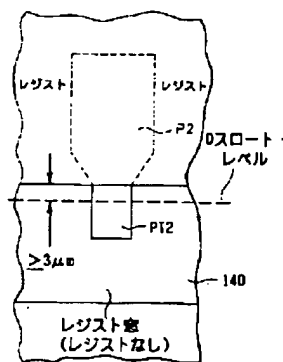
【図23】



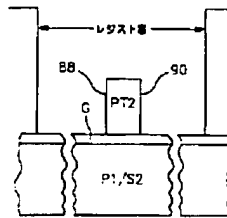
【図25】



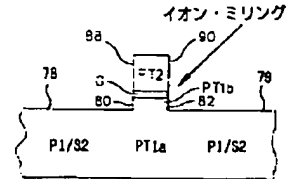
【図26】



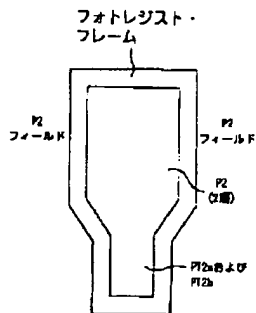
【図27】



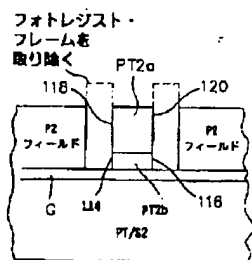
【図28】



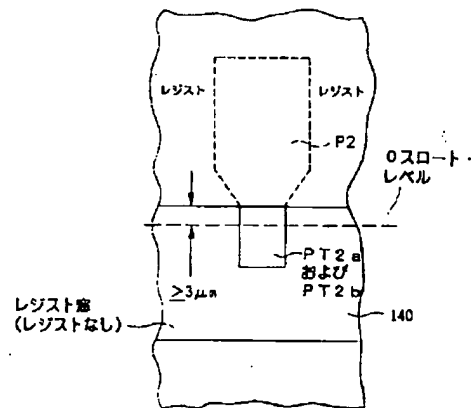
【図29】



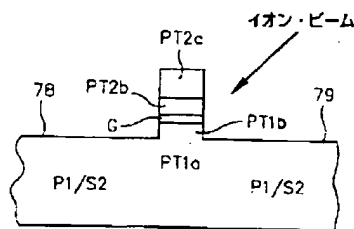
【図30】



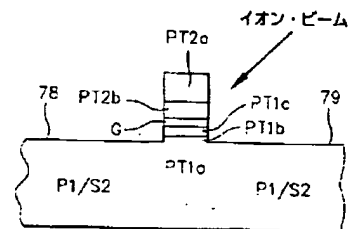
【図31】



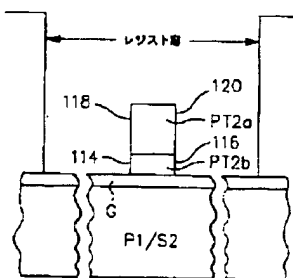
【図33】



【図34】



【図32】



フロントページの続き

(72)発明者 ジー＝シュエイ・ジェリー・ロー
アメリカ合衆国95120 カリフォルニア州
サンノゼ ヌーンウッド・コート 7018

(72)発明者 チン・ホワ・ツァン
アメリカ合衆国94087 カリフォルニア州
サニーベール ヘレナ・ドライブ 882

(72)発明者 ロバート・エム・ヴァレッタ
アメリカ合衆国95621 カリフォルニア州
シトラス・ハイツ ランチョ・ミラージ
ユ・コート 7017

Surface Potential Imaging For Magnetoresistive Head Development[†]

John Moreland and S. E. Russek
Electromagnetic Technology Division, National Institute of Standards and Technology
Boulder, Colorado 80303, USA

P. F. Hopkins
Quantum Peripherals Colorado, Inc.
Louisville, Colorado 80027, USA

Abstract. - We demonstrate the first applications of scanning surface potential microscopy to magnetoresistive (MR) thin-film devices. Images are presented on active devices showing 2D maps of the surface potential of energized MR read-head stripes taken from the production line at the puck level. We have found that surface potential line scans (voltage vs. distance) along MR spin valve stripes show slight deviations from linearity, possibly due to nonuniform film magnetization along the length of the stripe.

I. INTRODUCTION

In this paper we present surface potential images of thin-film magnetoresistive (MR) devices measured by atomic force microscopy (AFM). In this method, surface potential is determined by measuring the motion of a conductive AFM cantilever due to the capacitive forces between the tip and the sample. This technique is useful for measuring surface potential shifts generated by current flowing through a device. It is also sensitive to spatial variations of work functions, contact potentials, and trapped charges. We give a brief argument for choosing this method over others and demonstrate its usefulness for imaging variations of the MR coefficient as a function of position with 50 nm resolution. We are motivated by the fact that the local MR coefficient of a thin-film multilayer depends on the nanometer-scale details of domain pinning and magnetic biasing. These effects are not well understood especially for patterned devices with micrometer and submicrometer dimensions.

One of the first variations to scanning tunneling microscopy (STM) was scanning tunneling potentiometry (STP) [1,2]. STP has been demonstrated to have a voltage sensitivity at the 100 nV level using a tunneling current nulling scheme to determine local surface potential. STP works well on conductive samples where a practical tunneling contact can be maintained during scanning. The atomic force microscope (AFM) has also been adapted for scanning potentiometry [3]. The advantage of AFM is that part of the sample being scanned can be insulating. This advantage is crucial for potentiometry of submicrometer devices where it would be difficult to position a STM tip on the sample without crashing the tip on adjacent insulating regions.

What mode of operation is the best for AFM potentiometry? Requirements to be considered for industrial applications include nanometer spatial resolution, prospects for submillivolt resolution,

practical scan times, calibration, simplicity of operation, ambient operation in air, and operator expertise. AFM potentiometry can be divided into two general categories - contact or noncontact. By definition, contact mode means that the tip and sample surfaces are in electrical contact, whereas in noncontact mode it is the long range electric forces between the tip and the sample surface that are used to deduce local voltage shifts. Contact-mode potentiometry has the advantage of high spatial and voltage resolution if measurable electrical contact can be maintained while scanning. This can be difficult (as discussed below) due to surface contamination between the tip and the sample. Electrical contact is not a problem in noncontact mode. However, since electric forces between the tip and the sample are long range, spatial resolution is limited.

An AFM cantilever is designed to limit the contact force to less than 10 nN so that it is nondestructive. This is a source of difficulty when performing contact-mode AFM potentiometry since both the cantilever tip and sample may have a surface contamination layer. During STP, the rigid STM tip pushes any fluid layers away and breaks through any thin oxide in order to establish tunneling contact to the sample. Movement of an AFM cantilever tip, on the other hand, can be dominated by water surface tension between the tip and the sample in addition to the presence of surface oxides [4]. Meepagala, *et al.* showed that a water layer prevents electrical contact between the presumably clean surfaces of a Au-coated tip and a Au sample in air [5]. Even if fluid and oxide effects could be minimized, the area of the contact is small for low cantilever forces. In the Sharvin limit, where the mean free path, l , is much larger than the radius of the contact, a , the resistance is given by $R_{\text{contact}} = (4/3) \pi \rho l / a^2$ [6]. For typical metals, $\rho \approx 5 \cdot 10^{-12} \Omega \cdot \text{cm}^2$, so that for an atomic level contact with $a = 0.3 \text{ nm}$, R_{contact} is about 20 k Ω which is marginal for contact potentiometry. In reality, low-force AFM contacts in air are nonideal and have much higher resistances above 1 G Ω making direct-contact voltage measurements impractical. Unfortunately, we have found that the tip-sample forces have to be very high (greater than 1 μN) to make low-resistance electrical contact. This force would be damaging to both the tip and sample, and cause wear in a scanning mode. In addition, large forces cause the tip to slide along the surface so that the precise location of the electrical contact on the sample is unknown relative to the piezo-positioning system.

II. EXPERIMENTAL

The details of the modifications to an AFM required for noncontact surface potential imaging are discussed by Yokayama and Inoue [7]. The surface potential on the sample is measured by applying a voltage $V = V_{\text{dc}} + V_{\text{ac}} \sin(\omega t)$ between the AFM tip and the sample. The capacitive force between the tip and the sample is

Manuscript received April 10, 1997.

Moreland, 303-497-3641, fax 303-497-7676, moreland@boulder.nist.gov; S. E. Russek, 303-497-5097, fax 303-497-5316, russek@boulder.nist.gov; P. F. Hopkins, 303-604-5401.

[†]Contribution of the National Institute of Standards and Technology, not subject to copyright.

$$F = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{2} CV^2 \right). \quad (1)$$

Making the approximation that the tip can be modeled as a thin capacitor plate of radius r at a distance z above the sample, with a capacitance of $C = \epsilon\pi r^2/z$, the capacitive force component at ω is

$$F_\omega = \epsilon\pi V_{dc} V_{ac} \left(\frac{r}{z} \right)^2 \sin(\omega t). \quad (2)$$

Equation (2) shows that F_ω can be minimized by adjusting the dc voltage applied to the tip so that $V_{dc} \rightarrow 0$. This is done with a feedback loop at each point along the surface during imaging. As is the case for magnetic force microscopy, the spatial resolution of the surface potential is limited to about 50 nm by the radius of curvature of the tip and the scan height which are both about 20 nm.

A minimum F_ω of 1 pN is typical of our AFM which has a narrow-bandwidth detection scheme based on phase-locked loop detection of the cantilever motion near resonance. In this case, with the estimate that $z \approx r$ and using $V_{ac} = 5$ V, we estimate a local surface potential sensitivity of 1 mV. Experimentally, the noise level is in the range from 1 to 10 mV depending on the tip.

The AFM tip must be coated with a thin conductive layer that is tough and does not easily corrode in air. We coated commercially available Si micromachined cantilevers (resonant frequencies of 70 to 89 kHz and spring constants of 1 to 5 N/m) with 20 nm of Cr evaporated from a Cr-coated W rod at a deposition rate of 0.3 nm/s in a background vacuum of 1.3×10^{-4} Pa (10^{-6} Torr).

Measurements were made by interleaving line scans with the AFM in different modes. First, the surface topography was measured followed by a retrace in surface potential mode along the same line, but with the tip lifted at $z = 100$ nm above the sample. In all cases $V_{ac} = 5$ V.

III. RESULTS

Noncontact AFM scanning potentiometers are sensitive to many sources of surface potential. This is illustrated in Fig. 1, which shows the surface topography image (Fig. 1a), the surface potential image (Fig. 1b), and the surface potential line scan (Fig. 1c) of a MR read-head sensor biased at $I = 10$ mA. The device was one of many on the surface of a puck taken from the production line before dicing and polishing. There is a 0.2 V potential increase from left to right along the MR stripe. Other contributions to the potential, however, which correlate with surface topography; these include potential shifts near micrometer-sized particles at the edges of the strip as well as the shallow trench crossing the stripe. These "excess" surface potentials may come from different charged surface layers on the MR stripe, the current leads, or the trench, which are left over from fabrication. Alternatively, they may come from the contact potential between the current leads and the MR stripe.

As a first step toward separating the different sources of surface potential in scanning potentiometry images, we have performed experiments on spin valve stripes [8]. The spin valve sample is designed for digital applications and should ideally have only two resistance states.

Image subtraction is helpful when imaging small magnetoresistive shifts of MR devices. The voltage drop along a MR stripe is expected to be linear along the stripe as a function of distance. As an

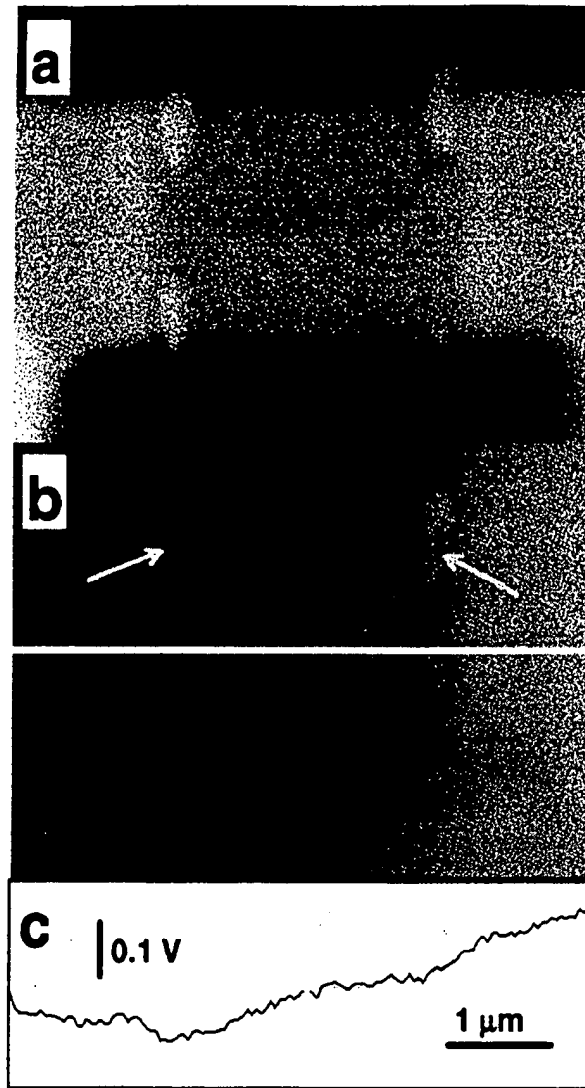


Fig. 1. Images of an MR device developed for a read head showing: (a) surface topography; (b) surface potential; and (c) a line scan of surface potential along the axis of the device as shown in Fig. 1b. Arrows show charged particles.

external magnetic field is applied to the device we expect the surface potential line scan (voltage vs. distance) to remain uniformly linear but with different slope. However, slight deviations from linearity could in principle occur due to the formation of extended regions of the device with a different sheet resistance relative to neighboring regions. Local resistance variations may be caused by domain pinning or magnetic field self biasing from the current flowing in the device. Depending on the MR coefficient for the magnetic layers, these small deviations from linearity can be less than 1% shifts in the local slope of the surface potential line scan and thus difficult to measure. Alternatively, the difference between surface potential line scans taken at different applied fields can be measured point-by-point with the stripe at a fixed current bias. This makes it easier to visualize small changes in the sheet resistance of the stripe. The subtraction process additionally removes common mode artifacts, particularly static surface potentials stemming from surface charging or contact potentials, which presumably do not change with changes in the applied field.

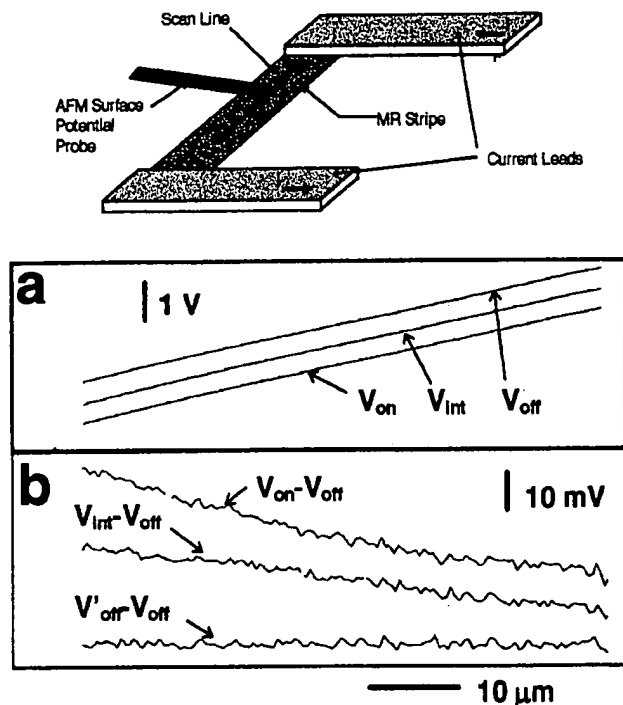


Fig. 2. Surface potential line scans of a GMR spin-valve stripe showing: (a) voltage vs. distance; and (b) subtracted voltage curves (relative to V_{off}) versus distance for different stripe resistance states at different applied fields. The orientation of the AFM tip relative to the stripe is shown at top.

Figure 2 shows the surface potential measurements of a sputter-deposited spin-valve stripe biased at 30 mA. The line scan was limited to half of the stripe due to the scan limit on the piezo-scanner. Each line scan is an average of 16 separate line scans under the same applied magnetic field conditions. The field was adjusted by moving a magnet close to the stripe at various distances and flipping the magnet over to reverse field direction. The overall stripe resistance was monitored during this process. Data taken at stripe potential line scans labeled as V_{on} , V_{int} , and V_{off} are shown in Fig. 2a. The magnitude and direction of the field were not well defined during this process. However, the MR hysteresis loop was measured subsequently in a calibrated

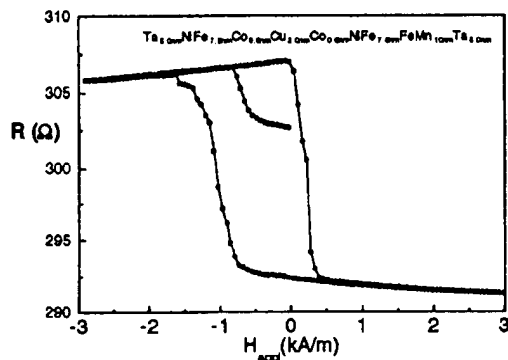


Fig. 3. MR hysteresis loop for the digital spin valve stripe. The device exhibited several intermediate resistance states indicating that complicated domain structures along the length of the device are possible depending on its field history.

electromagnet (see Fig. 3). It is difficult to see any shifts in the surface potential line scans of Fig. 2a; rather we must refer to the subtracted curves in Fig. 2b. The $V'_{off} - V_{off}$ curve is the difference between two curves taken at roughly the same point on the MR hysteresis curve. This provides a check on the noise of the averaging and subtraction processes. Careful observation of the line scans in Fig. 2a shows tiny features due to static contributions in the surface potential which do not show up in the subtracted curves. Also, we see clearly that the $V_{off} - V_{on}$ curve is not linear. We would expect a linear curve for the stripe in different but uniform sheet resistance states.

V. DISCUSSION

Given the uncertainties regarding the direction and magnitude of the applied field for the existing configuration of our AFM scanning system, it is difficult to make quantitative correspondence between the hysteresis curves in Fig. 3 and the surface potential results shown in Fig. 2. Rather we point out the utility of the technique to measure small changes in the local sheet resistance of thin-film stripes by measuring the local slope of the voltage difference line scans as illustrated in Fig. 2b. The hysteresis curve is evidence for domain formation and intermediate MR states in this sample. In addition, the surface potential data support our picture of extended regions of nonuniform magnetoresistance spanning sections of the stripe.

Voltage noise from the cantilever control electronics and the thermal noise of the cantilever itself limit the sensitivity of the potential measurement with the instrument described above. For statistically significant surface potential measurements at submicrometer dimensions, the voltage signal-to-noise ratio (SNR) needs to be improved by about a factor of 10. The force noise of the current instrument is about $1 \text{ pN}/\sqrt{\text{Hz}}$. Improvements in SNR can be obtained by operating in a vacuum to eliminate viscous damping of cantilever excitations. The mechanical Q of the cantilever should increase by more than a factor of 100 in vacuum [9], and since $\text{SNR} \propto \sqrt{Q}$, this should be sufficient for the required voltage sensitivity improvement of our current instrument configuration. Improved voltage sensitivity combined with the 50 nm spatial resolution of the instrument will open up many opportunities for study of small, patterned thin-film conductors and devices. Another extension of the technique includes high frequency operation using the cantilever as an electromechanical mixer based on the nonlinear capacitive force. This mode has been demonstrated by several authors on semiconductor devices [10,11] but has yet to be applied to magnetic thin-film devices.

REFERENCES

- [1] P. Murali and D. W. Pohl, *Appl. Phys. Lett.* **48**, 514 (1986).
- [2] J. R. Kirtley, S. Washburn, and M. J. Brady, *Phys. Rev. Lett.* **60**, 414 (1988).
- [3] Y. Martin, D. W. Abraham, H. K. Wickramasinghe, *Appl. Phys. Lett.* **52**, 1103 (1988).
- [4] H. G. Hansma, J. Vezenka, C. Siegert, G. Kaldeman, H. Morrett, R. L. Sinsheimer, V. Elings, C. Bustamante, and P. K. Hansma, *Science* **255**, 1180 (1992).
- [5] S. C. Meepagala, F. Real, and C. B. Reyes, *J. Vac. Sci. Technol. B* **9**, 1340 (1991).
- [6] V. Sharvin, *Sov. Phys. JETP* **21**, 655 (1965).
- [7] H. Yokoyama and T. Inoue, *Thin Solid Films* **242**, 33 (1994).
- [8] S. E. Russek, J. O. Oti, Young K. Kim, and R. W. Cross, "Performance Optimization of Submicrometer Spin Valves for Digital Applications," these proceedings.
- [9] T. R. Albrecht, *J. Appl. Phys.* **62**, 668 (1991).
- [10] A. S. Hou, F. Ho, and D. M. Bloom, *Electron. Lett.* **28**, 2302 (1992).
- [11] C. Böhm, C. Roths, and E. Kubalek, *Microelectronic Engineering*, **24**, 91 (1994).

**NOTICE OF OFFICE PLAN TO CEASE SUPPLYING COPIES OF CITED U.S. PATENT
REFERENCES WITH OFFICE ACTIONS, AND PILOT TO EVALUATE THE
ALTERNATIVE OF PROVIDING ELECTRONIC ACCESS TO SUCH U.S. PATENT
REFERENCES**

Summary

The United States Patent and Trademark Office (Office or USPTO) plans in the near future to: (1) cease mailing copies of U.S. patents and U.S. patent application publications (US patent references) with Office actions except for citations made during the international stage of an international application under the Patent Cooperation Treaty and those made during reexamination proceedings; and (2) provide electronic access to, with convenient downloading capability of, the US patent references cited in an Office action via the Office's private Patent Application Information Retrieval (PAIR) system which has a new feature called "E-Patent Reference." Before ceasing to provide copies of U.S. patent references with Office actions, the Office shall test the feasibility of the E-Patent Reference feature by conducting a two-month pilot project starting with Office actions mailed after December 1, 2003. The Office shall evaluate the pilot project and publish the results in a notice which will be posted on the Office's web site (www.USPTO.gov) and in the Patent Official Gazette (O.G.). In order to use the new E-Patent Reference feature during the pilot period, or when the Office ceases to send copies of U.S. patent references with Office actions, the applicant must: (1) obtain a digital certificate from the Office; (2) obtain a customer number from the Office, and (3) properly associate applications with the customer number. The pilot project does not involve or affect the current Office practice of supplying paper copies of foreign patent documents and non-patent literature with Office actions. Paper copies of references will continue to be provided by the USPTO for searches and written opinions prepared by the USPTO for international applications during the international stage and for reexamination proceedings.

Description of Pilot Project to Provide Electronic Access to Cited U.S. Patent References

On December 1, 2003, the Office will make available a new feature, E-Patent Reference, in the Office's private PAIR system, to allow more convenient downloading of U.S. patents and U.S. patent application publications. The new feature will allow an authorized user of private PAIR to download some or all of the U.S. patents and U.S. patent application publications cited by an examiner on form PTO-892 in Office actions, as well as U.S. patents and U.S. patent application publications submitted by applicants on form PTO/SB08 (1449) as part of an IDS. The retrieval of some or all of the documents may be performed in one downloading step with the documents encoded as Adobe Portable Document format (.pdf) files, which is an improvement over the current page-by-page retrieval capability from other USPTO systems.

Steps to Use the New E-Patent Reference Feature During the Pilot Project and Thereafter

Access to private PAIR is required to utilize E-Patent Reference. If you don't already have access to private PAIR, the Office urges practitioners, and applicants not represented by a practitioner, to take advantage of the transition period to obtain a no-cost USPTO Public Key Infrastructure (PKI) digital certificate, obtain a USPTO customer number, associate all of their pending and new application filings with their customer number, install no-cost software (supplied by the Office) required to access private PAIR and E-Patent Reference feature, and make appropriate arrangements for Internet access. The full instructions for obtaining a PKI digital certificate are available at the Office's Electronic Business Center (EBC) web page at: <http://www.uspto.gov/ebc/downloads.html>. Note that a notarized signature will be required to obtain a digital certificate.

To get a Customer Number, download and complete the Customer Number Request form, PTO-SB125, at: <http://www.uspto.gov/web/forms/sb0125.pdf>. The completed form can then be transmitted by facsimile to the Electronic Business Center at (703) 308-2840, or mailed to the address on the form. If you are a registered attorney or patent agent, then your registration number must be associated with your customer number. This is accomplished by adding your registration number to the Customer Number Request form. A description of associating a customer number with an application is described at the EBC web page at: http://www.uspto.gov/ebc/registration_pair.html.

The E-Patent Reference feature will be accessed using a new button on the private PAIR screen. Ordinarily all of the cited U.S. patent and U.S. patent application publication references will be available over the Internet using the Office's new E-Patent Reference feature. The size of the references to be downloaded will be displayed by E-Patent Reference so the download time can be estimated. Applicants and registered practitioners can select to download all of the references or any combination of cited references. Selected references will be downloaded as complete documents as Adobe Portable Document Format (.pdf) files. For a limited period of time, the USPTO will include a copy of this notice with Office actions to encourage applicants to use this new feature and, if needed, to take the steps outlined above in order to be able to utilize this new feature during the pilot and thereafter.

During the two-month pilot, the Office will evaluate the stability and capacity of the E-Patent Reference feature to reliably provide electronic access to cited U.S. patent and U.S. patent application publication references. While copies of U.S. patent and U.S. patent application publication references cited by examiners will continue to be mailed with Office actions during the pilot project, applicants are encouraged to use the private PAIR and the E-Patent Reference feature to electronically access and download cited U.S. patent and U.S. patent application publication references so the Office will be able to objectively evaluate its performance. The public is encouraged to submit comments to the Office on the usability and performance of the E-Patent Reference feature during the pilot. Further, during the pilot period registered practitioners, and applicants not represented by a practitioner, are encouraged to experiment with the feature, develop a proficiency in using the feature, and establish new internal processes for using the new access to the cited U.S. patents and U.S. patent application publications to prepare for the anticipated cessation of the current Office practice of supplying copies of such cited

references. The Office plans to continue to provide access to the E-Patent Reference feature during its evaluation of the pilot.

Comments

Comments concerning the E-Patent Reference feature should be in writing and directed to the Electronic Business Center (EBC) at the USPTO by electronic mail at eReference@uspto.gov or by facsimile to (703) 308-2840. Comments will be posted and made available for public inspection. To ensure that comments are considered in the evaluation of the pilot project, comments should be submitted in writing by January 15, 2004.

Comments with respect to specific applications should be sent to the Technology Centers' customer service centers. Comments concerning digital certificates, customer numbers, and associating customer numbers with applications should be sent to the Electronic Business Center (EBC) at the USPTO by facsimile at (703) 308-2840 or by e-mail at EBC@uspto.gov.

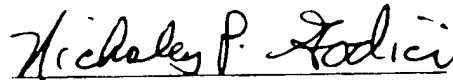
Implementation after Pilot

After the pilot, its evaluation, and publication of a subsequent notice as indicated above, the Office expects to implement its plan to cease mailing paper copies of U.S. patent references cited during examination of non provisional applications on or after February 2, 2004; although copies of cited foreign patent documents, as well as non-patent literature, will still be mailed to the applicant until such time as substantially all applications have been scanned into IFW.

For Further Information Contact

Technical information on the operation of the IFW system can be found on the USPTO website at <http://www.uspto.gov/web/patents/ifw/index.html>. Comments concerning the E-Patent Reference feature and questions concerning the operation of the PAIR system should be directed to the EBC at the USPTO at (866) 217-9197. The EBC may also be contacted by facsimile at (703) 308-2840 or by e-mail at EBC@uspto.gov.

Date. 12/1/03



Nicholas P. Godici
Commissioner for Patents

USPTO TO PROVIDE ELECTRONIC ACCESS TO CITED U.S. PATENT REFERENCES WITH OFFICE ACTIONS AND CEASE SUPPLYING PAPER COPIES

In support of its 21st Century Strategic Plan goal of increased patent e-Government, beginning in June 2004, the United States Patent and Trademark Office (Office or USPTO) will begin the phase-in of its E-Patent Reference program and hence will: (1) **provide downloading capability of the U.S. patents and U.S. patent application publications cited in Office actions** via the E-Patent Reference feature of the Office's Patent Application Information Retrieval (PAIR) system; and (2) **cease mailing paper copies of U.S. patents and U.S. patent application publications with Office actions** (in applications and during reexamination proceedings) except for citations made during the international stage of an international application under the Patent Cooperation Treaty (PCT). In order to use the new E-Patent Reference feature applicants must: (1) obtain a digital certificate and software from the Office; (2) obtain a customer number from the Office; and (3) properly associate patent applications with the customer number. Alternatively, copies of all U.S. patents and patent application publications can be accessed without a digital certificate from the USPTO web site, from the USPTO Office of Public Records, and from commercial sources. The Office will continue the practice of supplying paper copies of foreign patent documents and non-patent literature with Office actions. Paper copies of cited references will continue to be provided by the USPTO for international applications during the international stage.

Schedule

June 2004	TCs 1600, 1700, 2800 and 2900
July 2004	TCs 3600 and 3700
August 2004	TCs 2100 and 2600

All U.S. patents and U.S. patent application publications are available on the USPTO web site. However, a simple system for downloading the cited U.S. patents and patent application publications has been established for applicants, called the E-Patent Reference system. As E-Patent Reference and Private PAIR require participating applicants to have a customer number, retrieval software and a digital certificate, all applicants are strongly encouraged to contact the Patent Electronic Business Center to acquire these items. To be ready to use this system by June 1, 2004, contact the Patent EBC as soon as possible by phone at 866-217-9197 (toll-free), 703-305-3028 or 703-308-6845 or electronically via the Internet at ebc@uspto.gov.

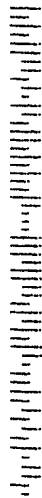
Other Options

The E-Patent Reference function requires the applicant to use the secure Private PAIR system, which establishes confidential communications with the applicant. Applicants using this facility must receive a digital certificate, as described above. Other options for obtaining patents which do not require the digital certificate include the USPTO's free Patents on the Web program (<http://www.uspto.gov/patft/index.html>). The USPTO's Office of Public Records also supplies copies of patents for a fee (<http://ebiz1.uspto.gov/oems25p/index.html>). Commercial sources also provide U.S. patents and patent application publications.

For complete instructions see the Official Gazette Notice "USPTO TO PROVIDE ELECTRONIC ACCESS TO CITED U.S. PATENT REFERENCES WITH OFFICE ACTIONS AND CEASE SUPPLYING PAPER COPIES" on the USPTO web site

TC3700

CP2



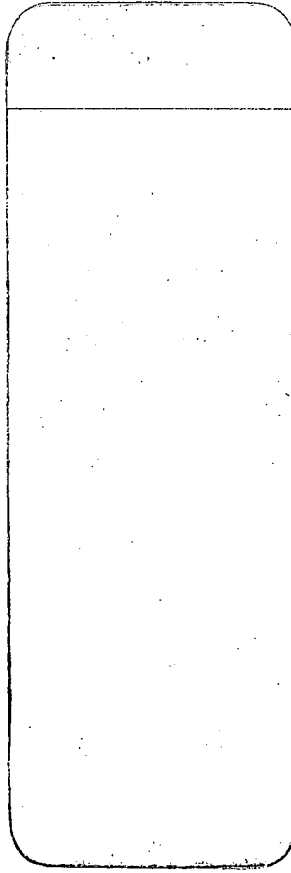
P.O. BOX 1450

ALEXANDRIA, VA 22313-1450

IF UNDELIVERABLE RETURN IN TEN DAYS

OFFICIAL BUSINESS

AN EQUAL OPPORTUNITY EMPLOYER



INSUFFICIENT
ADDRESS

